



**PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN CENTROAMÉRICA:
COSTA RICA, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS**

CONVENIO CEPAL / REPÚBLICA FEDERAL ALEMANA

Este estudio fue elaborado por el consultor Waldyr Luiz Ribeiro Gallo, en el marco del Proyecto “Inception Workshop for the Implementation of the Strategic Partnership”, Convenio CEPAL/República Federal Alemana. Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
INTRODUCCIÓN	1
1. Objetivos.....	1
2. Delimitación de los temas tratados.....	1
3. Metodología.....	2
4. Estructura del informe	2
I. EL BIODIESEL Y SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	5
1. Producción mundial de aceites vegetales y su productividad	6
2. Los aceites vegetales y los motores diesel	9
3. El biodiesel: definición y características técnicas	14
4. La producción de biodiesel.....	23
5. La calidad del biodiesel y sus efectos en el motor	34
6. Otras tecnologías para modificar aceites vegetales	37
II. EXPERIENCIA INTERNACIONAL CON BIODIESEL	40
1. La Unión Europea	41
2. El biodiesel en Estados Unidos, Canadá, Australia y Japón	46
3. Los países no-OECD de Asia: India, China, Malasia, Tailandia e Indonesia ..	49
4. Países de América Latina	52
III. ESTIMACIONES DE COSTOS Y PRECIOS PARA EL BIODIESEL.....	56
1. Costos y precios de materias primas para el biodiesel	57
2. Costos de producción del biodiesel	64
3. Formación de precios para el biodiesel: costos, márgenes y tasas	72
4. Comparación: precios de petróleo, diesel y de biodiesel	78
IV. PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN COSTA RICA	81
1. Características socio-económicas del país.....	81
2. Características agrícolas del país.....	82
3. Matriz energética y mercado de hidrocarburos	90
4. La producción actual de biodiesel	93
5. Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación.....	93
6. Escenarios para producción de biodiesel.....	95

V.	PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN EL SALVADOR	100
1.	Características socio-económicas del país.....	100
2.	Características agrícolas del país.....	102
3.	Matriz energética y mercado de hidrocarburos	108
4.	La producción actual de biodiesel	111
5.	Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación.....	112
6.	Escenarios para producción de biodiesel.....	112
VI.	PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN GUATEMALA.....	118
1.	Características socio-económicas del país.....	118
2.	Características agrícolas del país.....	119
3.	Matriz energética y mercado de hidrocarburos	126
4.	La producción actual de biodiesel	128
5.	Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación.....	130
6.	Escenarios para producción de biodiesel.....	131
VII.	PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN HONDURAS.....	137
1.	Características socio-económicas del país.....	137
2.	Características agrícolas del país.....	138
3.	Matriz energética y mercado de hidrocarburos	144
4.	La producción actual de biodiesel	150
5.	Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación.....	151
6.	Escenarios para producción de biodiesel.....	152
VIII.	RECOMENDACIONES GENERALES Y CONCLUSIONES.....	160
1.	Condiciones generales para la introducción del biodiesel.....	160
2.	Cuestiones ambientales y de sostenibilidad	163
3.	Recomendaciones de carácter general.....	166
4.	Conclusión.....	170
	BIBLIOGRAFÍA.....	171
	ANEXOS	183
	<u>Cuadros:</u>	
Cuadro 1	Producción mundial de oleaginosas.....	6
Cuadro 2	Producción mundial de aceites y grasas	6
Cuadro 3	Especies oleaginosas	7
Cuadro 4	Composición típica de un aceite vegetal crudo	8
Cuadro 5	Usos de los aceites vegetales.....	8
Cuadro 6	Comparación de propiedades: diesel, aceites y biodiesel.....	11

Cuadro 7	Problemas en el motor diesel con uso de aceites vegetales.....	13
Cuadro 8	Algunas propiedades de ácidos grasos	18
Cuadro 9	Propiedades de mono-alkil ésteres puros	18
Cuadro 10	Propiedades del biodiesel en función de su composición	19
Cuadro 11	Especificaciones de diesel y biodiesel: EUA y UE.....	21
Cuadro 12	Cantidad de biodiesel obtenida de 1000 kg de aceite.....	26
Cuadro 13	Empresas que fabrican equipo para biodiesel.....	30
Cuadro 14	Biodiesel: ¿etanol o metanol?.....	33
Cuadro 15	Diferencias entre el biodiesel metílico y etílico	34
Cuadro 16	Las características del biodiesel y problemas en los motores	36
Cuadro 17	Compatibilidad entre biodiesel y elastómeros.....	37
Cuadro 18	Rendimientos de pirolisis de aceites vegetales y grasas de ganado	38
Cuadro 19	Comparación de propiedades: diesel y productos de pirolisis.....	38
Cuadro 20	Estimaciones de la producción mundial de biodiesel	40
Cuadro 21	Capacidad productiva y consumo de biodiesel en Alemania	42
Cuadro 22	Las nuevas tasas para el biodiesel y aceites vegetales combustibles	43
Cuadro 23	Producción de biodiesel en los Estados Unidos	47
Cuadro 24	Costos de oleaginosas en Brasil	58
Cuadro 25	Precios internacionales de oleaginosas, 2005 a septiembre 2006	59
Cuadro 26	Costos de producción de aceites vegetales.....	60
Cuadro 27	Costo del aceite de palma en función de la edad de las fincas.....	60
Cuadro 28	Precios internacionales de aceites, 2005 a septiembre 2006	61
Cuadro 29	Costos de inversión: plantas de pequeño porte.....	65
Cuadro 30	Costo de inversión: plantas de gran porte.....	66
Cuadro 31	Costos de producción de biodiesel	68
Cuadro 32	Precios internacionales de harinas de oleaginosas, octubre 2005 a septiembre 2006.....	69
Cuadro 33	Estimaciones de costos de biodiesel – hipótesis.....	71
Cuadro 34	Estimaciones de costos de biodiesel – resultados (US\$/ton).....	72
Cuadro 35	Impuestos sobre el diesel y exenciones vigentes para biodiesel.....	73
Cuadro 36	Costo adicional del biodiesel y precios de petróleo.....	79
Cuadro 37	Costa Rica: Indicadores socio-económicos y de uso de tierras.....	82
Cuadro 38	Costa Rica: Balance comercial total y deuda externa	82
Cuadro 39	Costa Rica: Mayores extensiones de tierras para cosechas.....	83
Cuadro 40	Costa Rica: Producción agrícola de granos y productos de exportación.....	84
Cuadro 41	Costa Rica: Importaciones agrícolas de Costa Rica.....	84
Cuadro 42	Costa Rica: Consumo aparente y grado de dependencia de importaciones	85
Cuadro 43	Costa Rica: Principales exportaciones agropecuarias	86
Cuadro 44	Costa Rica: Producción de palma africana (frutos) y aceite de palma	88
Cuadro 45	Costa Rica: Parámetros de rendimiento de la palma según su edad.....	88
Cuadro 46	Costa Rica: Indicadores energéticos.....	90
Cuadro 47	Costa Rica: Ventas totales de gasolina y diesel, 2006.....	91
Cuadro 48	Costa Rica: Precios al consumidor de gasolinas y diesel	92
Cuadro 49	Costa Rica: Estructura de precios de algunos combustibles	92
Cuadro 50	Costa Rica: Proyecciones de uso de biodiesel: volúmenes e incremento de área de siembra de palma.....	96

Cuadro 51	Costa Rica: Estimaciones de área de siembra de Jatropha para biodiesel.....	
Cuadro 52	El Salvador: Indicadores socio-económicos y de uso de tierras.....	97
Cuadro 53	El Salvador: Uso de la tierra en 2006.....	101
Cuadro 54	El Salvador: Balance comercial total y deuda externa.....	101
Cuadro 55	El Salvador: Mayores extensiones de tierras para cosechas.....	102
Cuadro 56	El Salvador: Producción agrícola de granos y productos de exportación.....	103
Cuadro 57	El Salvador: Importaciones agrícolas.....	104
Cuadro 58	El Salvador: Consumo aparente y grado de dependencia de importaciones.....	105
Cuadro 59	El Salvador: Principales exportaciones agropecuarias, 2004.....	106
Cuadro 60	El Salvador: Importaciones de aceites vegetales.....	107
Cuadro 61	El Salvador: Producción de oleaginosas con potencial de producción de aceites.....	108
Cuadro 62	El Salvador: Indicadores energéticos.....	109
Cuadro 63	El Salvador: Balance de derivados de petróleo, 2005.....	109
Cuadro 64	El Salvador: Ventas totales de gasolina y diesel, 2004 - 2006.....	110
Cuadro 65	El Salvador: Precios de facturación para estaciones de servicio, 26 diciembre 2006 a 1 enero 2007.....	110
Cuadro 66	El Salvador: Estimaciones de área de siembra para biodiesel.....	114
Cuadro 67	Guatemala: Indicadores socio-económicos y de uso de tierras.....	119
Cuadro 68	Guatemala: Balance comercial total y deuda externa.....	119
Cuadro 69	Guatemala: Mayores extensiones de tierras para cosechas.....	120
Cuadro 70	Guatemala: Producción agrícola de granos y productos de exportación.....	121
Cuadro 71	Guatemala: Importaciones agrícolas.....	121
Cuadro 72	Guatemala: Consumo aparente y grado de dependencia de importaciones.....	122
Cuadro 73	Guatemala: Principales exportaciones agrícolas.....	123
Cuadro 74	Guatemala: Producción de palma africana (frutos).....	124
Cuadro 75	Guatemala: Indicadores energéticos.....	126
Cuadro 76	Guatemala: Balance de derivados de petróleo, 2005.....	126
Cuadro 77	Guatemala: Ventas totales de gasolina regular y diesel, 2004 - 2006.....	127
Cuadro 78	Guatemala: Precios al consumidor de gasolinas y diesel.....	127
Cuadro 79	Guatemala: Estimaciones de área de siembra para biodiesel.....	133
Cuadro 80	Indicadores socio-económicos y de uso de tierras.....	138
Cuadro 81	Balance comercial total y deuda externa.....	138
Cuadro 82	Mayores extensiones de tierras para cosechas.....	139
Cuadro 83	Producción agrícola de granos y productos de exportación.....	140
Cuadro 84	Importaciones agrícolas de Honduras.....	140
Cuadro 85	Consumo aparente y grado de dependencia de importaciones.....	141
Cuadro 86	Principales exportaciones agropecuarias.....	142
Cuadro 87	Producción de palma africana (frutos) y aceite de palma.....	143
Cuadro 88	Nombre y capacidad de las plantas de aceite de palma.....	144
Cuadro 89	Indicadores energéticos de Honduras.....	145
Cuadro 90	Consumo de combustibles.....	146
Cuadro 91	Importaciones de hidrocarburos.....	147
Cuadro 92	Ventas totales de gasolina y diesel en 2006.....	147
Cuadro 93	Capacidad de almacenamiento de hidrocarburos.....	150

Cuadro 94	Flota de vehículos en Honduras	150
Cuadro 95	Evaluación del Megaproyecto de biodiesel de palma	153
Cuadro 96	Estimaciones de área de siembra para biodiesel.....	155
Cuadro 97	Jerarquía de mercados segmentados.....	161
Cuadro 98	Propiedades promedias de diesel y biodiesel	16

Gráficos:

Gráfico 1	Composición de diferentes materias primas.....	19
Gráfico 2	Evolución de precios – aceites de alto valor	62
Gráfico 3	Evolución de precios – aceites de valor intermedio.....	62
Gráfico 4	Evolución de precios – aceites usados y grasa animal	63
Gráfico 5	Reducción de costo del biodiesel por venta de glicerina	70
Gráfico 6	Influencia del costo del aceite sobre la viabilidad del biodiesel	74
Gráfico 7	Influencia de costos agrícolas sobre la viabilidad del biodiesel.....	74
Gráfico 8	Precios de aceite de colza y de biodiesel en Alemania	76
Gráfico 9	Precios de diesel y de biodiesel en Alemania.....	76
Gráfico 10	Precios de diesel y biodiesel en Alemania – 2006	78
Gráfico 11	Costo y precios de biodiesel de palma y precios del petróleo.....	80
Gráfico 12	Costa Rica: Importancia relativa de las exportaciones agrícolas en ingresos ..	87
Gráfico 13	Costa Rica: Estimaciones de costos y viabilidad	98
Gráfico 14	Costa Rica: Viabilidad para la Jatropha (piñón).....	99
Gráfico 15	El Salvador: Costos y precios para biodiesel de tempate.....	115
Gráfico 16	El Salvador: Costos y precios para biodiesel de higüerillo	115
Gráfico 17	El Salvador: Costos y precios para biodiesel de palma.....	117
Gráfico 18	Guatemala: Edad del parque vehicular.....	128
Gráfico 19	Guatemala: Estimaciones de costos para biodiesel de palma – costos agrícolas.....	134
Gráfico 20	Guatemala: Estimaciones de costos para biodiesel de palma – precio de aceite.....	134
Gráfico 21	Guatemala: Estimaciones de costos para biodiesel de tempate – precio de aceite.....	135
Gráfico 22	Evolución de precios al consumidor – Gasolina Súper: 2004-2006	148
Gráfico 23	Evolución de precios al consumidor – Gasolina reg.: 2004-2006.....	148
Gráfico 24	Evolución de precios al consumidor – Diesel: 2004-2006.....	149
Gráfico 25	Costos y precios: biodiesel de palma en Honduras	156
Gráfico 26	Costos y precios: biodiesel de aceite de palma en Honduras	157
Gráfico 27	Viabilidad para la Jatropha (tempate).....	158
Gráfico 28	Reducción de emisión de contaminantes. Base: biodiesel	164

Figuras

Figura 1	Representación esquemática de un triglicérido	5
Figura 2	Esquema de tres moléculas de biodiesel	11
Figura 3	Esquema de una molécula típica de diesel	11
Figura 4	Opciones técnicas para sustitución del diesel por aceites vegetales.....	13

Figura 5	La cadena productiva de biodiesel	23
Figura 6	Proceso de producción de biodiesel	25
Figura 7	Esquema de la reacción de transesterificación	26
Figura 8	El proceso Lurgi de producción continuada	28
Figura 9	El proceso Axens	29
Figura 10	Competencia entre usos alimentarios y no alimenticios.....	57
Figura 11	Guatemala: Mapa de áreas potenciales para el cultivo de la <i>Jatropha curcas</i> ..	125

INTRODUCCIÓN

El interés de países de América Central en introducir biocombustibles en sus matrices energéticas quedó patente en la Primera Reunión del Grupo Mesoamericano de Biocombustibles, llevado a cabo el 25 de agosto de 2006, en la ciudad de San José, Costa Rica, cuando los delegados de los países aprobaron el Plan de Introducción de los Biocombustibles en Centroamérica. Desde el punto de vista de sustitución de los hidrocarburos usados en transporte, el alcohol de caña de azúcar y el biodiesel son los principales biocombustibles. Este informe está centrado en analizar las perspectivas de introducción del biodiesel en las matrices energéticas de algunos países de la región.

El biodiesel posee diversas características favorables como sustituto del diesel de origen fósil: está prácticamente exento de azufre, es biodegradable, mejora la lubricidad del diesel en mezclas, reduce las emisiones de la combustión (excepto los óxidos de nitrógeno), posee mayor número de cetano que el diesel y es de origen renovable. Por todo esto, es uno de los biocombustibles que mejor se adecuan a los motores de encendido por compresión (motores diesel).

En esta parte se presentan los objetivos del informe, la delimitación de los temas tratados, la metodología de trabajo, y se describe la estructura del Informe.

1. Objetivos

El objetivo principal de este informe es evaluar las condiciones favorables y las barreras a la introducción del biodiesel en la matriz energética de los países estudiados. Para esto, se definieron los siguientes objetivos parciales: a) realizar un análisis sobre las perspectivas de programas de producción y consumo de biodiesel en cuatro países de América Central (Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras); b) presentar las principales características técnicas del producto, incluyendo su desempeño ambiental; c) presentar los procesos de producción de biodiesel, con sus ventajas y desventajas; d) evaluar en cada país las condiciones locales de producción de materias primas y de aceites vegetales, considerando los volúmenes y precios actuales; e) comparar los costos de producción del biodiesel con respecto a los precios internacionales del diesel; y f) hacer recomendaciones de soporte para toma de decisiones con respecto a la introducción sostenible del biodiesel en la matriz energética, con base en la realidad de cada país.

2. Delimitación de los temas tratados

Este documento presenta evaluaciones de las condiciones técnicas y económicas para la producción del biodiesel que favorezcan o dificulten su introducción en las matrices energéticas. Se presentan análisis y recomendaciones con el fin de evaluar el uso del biodiesel y ayudar en la toma de decisiones. Las condiciones generales para definir la viabilidad de la introducción del biodiesel serán discutidas, pero las cuestiones económicas locales sólo serán tratadas en la

medida de la disponibilidad de información, y no se hará un análisis detallado de proyectos específicos, sino un análisis panorámico para cada país.

3. Metodología

Para poder cumplir los objetivos delineados y circunscritos en la delimitación de temas abordados, se definió una metodología constituida por aspectos cualitativos y cuantitativos.

Desde el punto de vista cuantitativo, este informe requirió la organización de información general sobre el biodiesel, su producción, opciones de materias primas, y sus características de desarrollo sostenible (social y ambiental).

El trabajo requirió la recolección de datos e información objetiva de cada país analizado sobre sus mercados de hidrocarburos, la logística de distribución de combustibles, la capacidad de producción de materias primas y de aceites vegetales, la disponibilidad de tierras para cultivar variedades destinadas a producir biodiesel y los marcos legales para los mercados de hidrocarburos, de biocombustibles y de productos agrícolas o agro-industriales. Con esos datos e información, se establecieron escenarios con proyecciones de volúmenes necesarios de biodiesel para diversos grados de penetración en el mercado de hidrocarburos, estimaciones de costos de producción y comparaciones con los precios internacionales del biodiesel.

Además de la información objetiva, se requirió realizar entrevistas con los principales actores implicados para recabar sus impresiones y expectativas acerca del uso del biodiesel. Se buscó conocer las diversas visiones del sector de gobierno, del mercado de hidrocarburos, de la industria de aceites vegetales y del sector agrícola.

Para cumplir el programa arriba descrito, se elaboró un cuestionario preliminar (Anexo I), enviado con días de anticipación a los interlocutores, con el propósito de orientar la recolección de datos e información básica para cada uno de los países a visitar. La disponibilidad anticipada de la información serviría para facilitar las entrevistas previstas.

Para conocer la realidad de cada país y realizar las entrevistas con los actores públicos y privados del mercado de combustibles, se realizó una misión de 15 días a Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras. Las reuniones, fechas, duración, lista de asistentes y temas abordados están registradas en el “Informe de la Misión en Centroamérica” (Anexo II). La información recogida, fue consolidada, analizada, evaluada y organizada en este informe.

4. Estructura del Informe

Este informe presenta en el capítulo I las características técnicas generales del biodiesel y de las oleaginosas: definición, características de las oleaginosas, materias primas adecuadas para biodiesel, procesos de producción, subproductos y características ambientales.

La experiencia internacional con biodiesel se presenta en el capítulo II. Los casos de Alemania, Francia, Estados Unidos, India, China y Brasil son los más detallados. El análisis de costos, precios y condicionantes económicos se presentan en el capítulo III.

El capítulo IV muestra las perspectivas para Costa Rica. Se analizan las condiciones de infraestructura y de mercado de hidrocarburos, con detalle en el diesel. Se verifican las características agrícolas de producción de aceites vegetales, semillas u otras materias primas adecuadas para la obtención del biodiesel. Se discuten los aspectos institucionales y de regulación del país. Se exploran y evalúan escenarios asociados a la introducción del biodiesel, y se efectúan comparaciones entre los costos probables del biodiesel y los precios del diesel en Costa Rica. Finalmente, se presentan recomendaciones específicas para Costa Rica.

En los capítulos V, VI y VII se presentan las evaluaciones para El Salvador, Guatemala y Honduras, con la misma estructura descrita para Costa Rica.

El capítulo VIII presenta recomendaciones de carácter general asociadas a la introducción del biodiesel y las conclusiones.

I. EL BIODIESEL Y SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

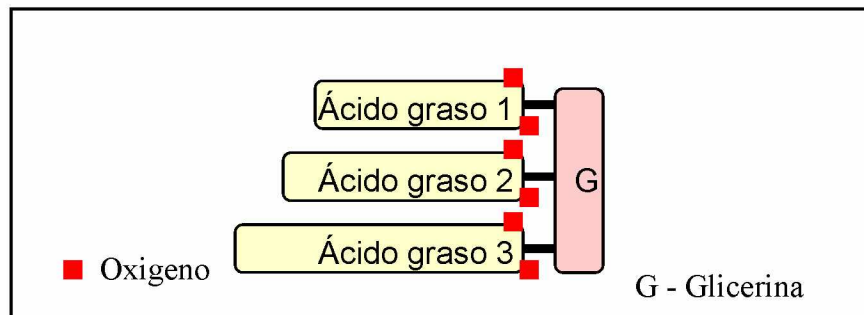
El concepto técnico del biodiesel y su proceso de producción presupone el conocimiento de algunos conceptos de la química orgánica. El biodiesel es producido a partir de aceites y grasas vegetales o grasas de origen animal y, por lo tanto, es necesario conocer esas grasas desde el punto de vista químico. De forma general, se emplea la palabra aceite para los líquidos y grasas o gorduras para las que son sólidas en condiciones ambientales, aunque sean químicamente similares.

Los aceites, grasas y gorduras que constituyen materias primas posibles para la producción del biodiesel son los llamados aceites fijos o triglicéridos y son de la clase de los lípidos (gorduras). No todos los aceites son adecuados para producción de biodiesel: los llamados aceites esenciales constituyen una familia de productos volátiles que no se prestan como materias primas para biodiesel, pertenecen a otras familias químicas (de los terpenos, fenoles y otras sustancias aromáticas) y poseen muy alto valor económico por sus propiedades aromáticas. Ejemplos son el aceite de la cáscara de naranja y el aceite de pino.

Los triglicéridos son ésteres de ácidos grasos. En el Anexo III se presentan las estructuras químicas de la glicerina, de los ésteres, de los ácidos grasos, de los triglicéridos y del biodiesel. De forma gráfica, esquemática y sin pretensiones de mantener el rigor científico, si puede representar los triglicéridos como en la Figura 1.

Figura 1

REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN TRIGLICÉRIDO



El aceite de cada especie vegetal posee una combinación de diferentes triglicéridos, que son moléculas grandes, compuestas por esterificación de tres ácidos grasos, los cuales pueden ser iguales o distintos. En el anexo III también se muestran las estructuras de los principales ácidos grasos presentes en los aceites y grasas, así como su participación porcentual en diversos aceites vegetales y grasas animales.

1. Producción mundial de aceites vegetales y su productividad

El mercado de oleaginosas presenta tendencia creciente desde hace muchos años. El cuadro 1 muestra la serie histórica de producción de las principales especies oleaginosas empleadas en la producción de aceite, clasificadas entre cultivos perennes anuales. Como se puede ver, la productividad también crece de manera consistente, al igual que la producción per cápita, es decir, el crecimiento de la producción de oleaginosas es mayor que el crecimiento de la población.

Cuadro 1

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE OLEAGINOSAS Perennes: palma, copra y olivera. Anuales: soja, colza, girasol y algodón

Año	Prod. Total (1000 ton.)		Prod. / capita		Área de cosecha (1000 ha)		Productividad (ton./ha)	
	Perenne	Anual	Perenne	Anual	Perenne	Anual	Perenne	Anual
1965	47015	83930	14	25	12116	72855	3,88	1,15
1970	48994	95888	13	26	13344	80634	3,67	1,19
1975	61603	118918	15	29	14951	90416	4,12	1,32
1980	73309	146667	16	33	18175	108394	4,03	1,35
1985	88976	189910	18	39	21469	116090	4,14	1,64
1990	112236	209856	21	40	23528	124933	4,77	1,68
1995	147424	244092	26	43	26321	142775	5,60	1,71
2000	188123	280414	31	46	28855	153249	6,52	1,83
2005	242811	352201	38	55	30881	177071	7,86	1,99

Fuente: Faostat, 2005.

El cuadro 2 presenta la producción de aceites y grasas por producto. La producción de aceite de palma viene creciendo y actualmente ya es el aceite más producido en el mundo.

Cuadro 2

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACEITES Y GRASAS (Miles de toneladas)

Aceite	2001	2002	2003	2004	2005
Aceite de soya	27829	29856	31284	30730	33540
Aceite de palma	23999	25424	27920	30920	33610
Aceite de colza	13723	13286	12548	14910	16040
Aceite de girasol	8191	7608	8915	9410	9730
Sebo y grasas animales	7693	8073	8029	8108	8186
Aceite de maní	5139	5162	4526	4750	4510
Aceite de algodón	4051	4233	3964	4410	5020
Aceite de palm kernel	2941	3033	3314	3580	3960
Aceite de coco	3511	3155	3295	3070	3250
Aceite de oliva	2761	2718	2903	2978	2730
Aceite de maíz	1962	2016	2015	2015	2055
Otros aceites y grasas	15826	16000	16667	16267	15569

Fuente: Oil World Monthlies 2006 y Oil World Annual 2005.

Son muchas las especies vegetales que pueden producir aceites o grasas. El cuadro 3 muestra, para algunas oleaginosas, los nombres de la especie (español, inglés y científico), su productividad agrícola (t oleaginosa / ha) y su productividad en aceite (litros de aceite / ha). Se debe recordar que estas cifras de productividad constituyen un rango de valores, donde los números menores o promedios están más cercanos de la realidad y los mayores representan límites máximos superiores, metas alcanzables en casos muy especiales. Los valores de productividad específicos para un dado lugar, siempre que estén disponibles, deben prevalecer sobre los valores indicados en este cuadro, debido a las diferentes condiciones locales de producción así como a los tipos de suelo y clima.

Muchas especies de oleaginosas no son empleadas para la producción de aceite y son usadas exclusivamente para la alimentación. El alto valor de estas oleaginosas en granos vuelve poco económica la extracción del aceite; como es el caso de varios tipos de semillas, como las nueces, las avellanas, el pistacho, la macadamia, el marañón, etc. En algunos casos, el aceite producido tiene también alto valor para fines farmacéuticos o cosméticos, como ocurre con el aceite de almendra.

Cuadro 3

ESPECIES OLEAGINOSAS

Nombres de las oleaginosas			Prod. Agrícola	Prod. Aceite	Aceite
Español	Inglés	Científico	t / ha	Litro / ha	%
Ajonjolí	Sesame	Sesamun indicus	0,8	490-700	38-40
Girasol	Sunflower	Heliantus annus	1,5-2,0	700-1100	39-48
Higuerilla	Castor bean	Ricinos comunis	0,6-2,5	620-1200	42-45
Maní	Peanut	Arachis hipogaea	1,4-2,5	700-1000	39-48
Palma aceitera	Palm	Elaeis guineensis	10-22	3000-5900	18-26
Soya	Soybean	Glycine max	1,5-3,0	350-520	17-19
Colza/Canola	Rapessed	Brassica napus	1,7-2,0	690-1100	37-46
Algodón	Cottonseed	Gossypium hirsutum	1,7-3,0	270-450	16-18
Arroz	Rice	Oriza sativa	6,0-10	700-900	18-21
Piñón	Jatropha	Jatropha curcas	1,0-5,0	950-1680	24-26
Coco (Copra)	Coconut	Cocos nucifera	1,0-5,0	2100-2510	52-60
Maíz	Corn	Zea mais	6,0-8,0	170-200	4-8
Aguacate	Avocado	Persea americana	6,0-9,0	2200-2800	10-30
Oliva	Olive	Olea europaea	2,0-12	1200-1400	12-30

Fuente: Beare-Rogers, 2001; Macedo & Nogueira, 2005

Un aceite vegetal crudo está compuesto básicamente por triglicéridos, como se observa en el cuadro 4. Mono y di glicéridos también están presentes así como ácidos grasos libres. Otros componentes presentan participación porcentual muy baja, pero con propiedades que pueden ser muy importantes, como las vitaminas y fosfolípidos.

Cuadro 4

COMPOSICIÓN TÍPICA DE UN ACEITE VEGETAL CRUDO

Compuesto	Porcentaje %
Triglicéridos	95
Mono y di glicéridos	0,1 – 2,0
Ácidos grasos libre (FFA)	0,3 – 2,0
Fosfolípidios	0,1 – 0,2
Vitaminas	~ 0,1
Colorantes naturales	35 ppm
Minerales (Mg, Ca, Fe)	5 – 300 ppm
Azufre (glicosideos)	5 – 50 ppm

Fuente: Knothe, 1997

Los aceites vegetales pueden ser empleados de varias maneras aunque su uso más común es para alimentación. El cuadro 5 muestra las estimaciones del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para la división de la producción entre uso alimenticio y uso industrial. Características particulares de cada aceite, así como los hábitos de cultivo hacen con que existan diferencias locales de valoración de cada aceite. Por ejemplo, en parte de Europa el uso del aceite de oliva es casi absoluto y los demás aceites vegetales son empleados solamente para freír.

Cuadro 5

USOS DE LOS ACEITES VEGETALES

Años	Alimentación	Usos industriales
	Millones de toneladas	Millones de toneladas
00/01	68	7
01/02	69	7
02/03	72	8
03/04	75	10
04/05	79	12
05/06	83	15
06/07	86	17

Fuente: USDA Estimates, 2006

En países donde el maíz es la base de la alimentación, como en Centroamérica y donde la producción local no posee gran excedente, no es común extraer el aceite de maíz. En parte de África, el principal aceite de cocina es el aceite de palma crudo. El aceite de soya, que hoy es el más usado en Brasil, prácticamente no era empleado hasta los años 70 en aquel país: los aceites más empleados entonces eran de algodón, de maní, de maíz.

Una característica importante de las oleaginosas es la torta que proviene de la extracción del aceite que puede ser empleada para alimentación animal. A veces, como en el caso de la soya, su contenido en proteínas es tan importante que la torta es empleada también para alimentación humana y obtiene buenos precios.

Los aceites vegetales también poseen utilidad en la industria, en la fabricación de jabones, perfumes y otros productos de cuidado personal o cosméticos. Algunos aceites son útiles como agentes de secado en tintas o en tratamiento de maderas. Otros usos industriales para aceites vegetales son el aislamiento eléctrico, los fluidos hidráulicos de uso múltiple y la fabricación de lubricantes sintéticos. Un factor que inhibe el mayor uso de aceites en la industria es que, como contrapartida de su carácter biodegradable, los aceites tienen problemas de estabilidad y se tornan rancios.

Algunos aceites vegetales, que no son comestibles o necesitan de tratamiento especial para mejorar su aceptación, son empleados en usos farmacéuticos o industriales. Este es el caso de los aceites de linaza (uso industrial), del aceite de higüerillo (uso industrial), del aceite de jojoba (uso cosmético) o del aceite de piñón (*Jatropha*) para producción de biodiesel.

Muchas especies oleaginosas no son empleadas de forma amplia hasta ahora, ya sea por características de mercado, por no ser comestibles, o por aún desconocerse sus propiedades. Para la producción del biodiesel, muchas especies que no son cultivadas merecen estudios más avanzados para evaluar su potencialidad, especialmente su productividad por hectárea y posibles usos de la torta.

En el caso de los países de Centroamérica, la única oleaginosa ya producida en grandes cantidades es la palma africana (Costa Rica, Guatemala y Honduras). El Salvador no produce granos o semillas para extracción de aceite.

Antes de avanzar en los conceptos del biodiesel, es preciso analizar qué son los motores diesel, sus peculiaridades, sus exigencias para las características de los combustibles a emplear y en qué condiciones los aceites y grasas vegetales pueden ser empleados como combustible.

2. Los aceites vegetales y los motores diesel

a) Los motores a pistón: dos concepciones distintas

Para entender la conexión entre los motores diesel y los aceites vegetales o sus derivados, es necesario comprender los dos principios básicos de funcionamiento de los motores a pistón (Otto o Diesel).

En 1876, Nicklaus Otto inventó un motor de combustión interna a pistón que fue el predecesor de los modernos motores a gasolina. En este tipo de motor, se introducen vapores de combustible y aire en el cilindro y la combustión empieza a través de una chispa eléctrica disparada en el momento adecuado. Si la tasa de compresión es muy alta, el aire se torna muy caliente debido a la compresión y la combustión de la mezcla aire/combustible puede ocurrir de forma prematura ocasionando muchos problemas para el motor además de perjudicar su desempeño. Este tipo de motor se llama “de encendido por chispa” o “motor Otto” y los mejores combustibles para éste son los de alta volatilidad y alto octanaje: la gasolina, el alcohol, el gas licuado de petróleo y el gas natural.

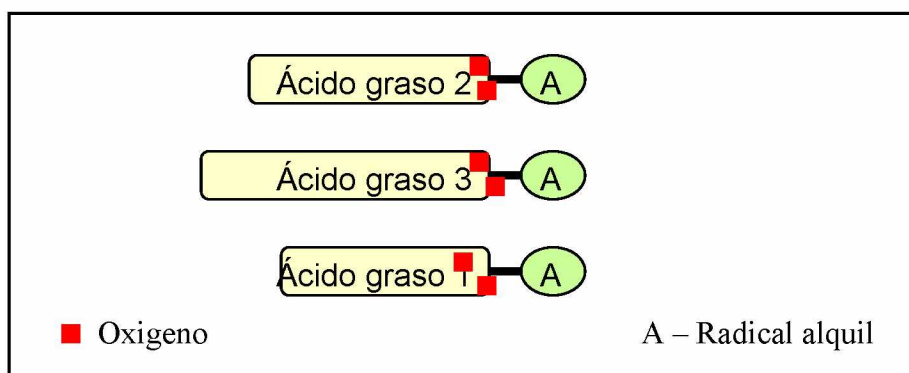
Rudolph Diesel quería construir un motor a pistón con altas tasas de compresión para obtener mejor eficiencia. Patentó su idea en 1893 y construyó su primer motor en 1897. Desde el inicio, Diesel quiso operar su motor con carbón pulverizado, pero después optó por los combustibles líquidos. En este tipo de motor, solamente se introduce aire que es comprimido en el cilindro, el combustible sólo es introducido cuando el aire ya está comprimido y muy caliente y la combustión empieza debido a la temperatura del aire sin chispas eléctricas. Por esto, este tipo de motor se llama “de encendido por compresión” o “motor diesel”. Los combustibles más adecuados para este motor son el destilado mediano de petróleo (llamado “aceite diesel” o “diesel”), aceites vegetales ‘in natura’ o modificados (biodiesel) y poseen características técnicas opuestas a los combustibles para motores Otto. Un buen combustible para el motor diesel no es adecuado al motor Otto y viceversa.

El uso de aceites vegetales en motores diesel viene desde el inicio del siglo XX. El propio Rudolph Diesel declaró que los motores de encendido por compresión podrían operar con aceites vegetales. Para la historia sobre el uso de aceites vegetales en motores diesel (véase Knothe, 2001). Los bajos precios de los hidrocarburos de petróleo durante casi todo el siglo XX inhibieron las investigaciones y uso de aceites vegetales en motores de encendido por compresión. Actualmente, no es posible el uso directo de aceites vegetales en motores diesel modernos sin una preparación especial, como se muestra a continuación.

i) ¿Aceites vegetales puros o biodiesel? Hace algunos años, se hizo una demostración por televisión: algunos litros de aceite de cocina usados eran filtrados y puestos en un tanque de combustible vacío de un coche diesel. El conductor encendía el motor y salía por la carretera. Lo que no se mostró en el programa de televisión fueron los problemas que surgen con el uso de este aceite vegetal. No se discutieron cuestiones como el arranque en frío y problemas de largo plazo para el motor, que arruinar la historia mostrada en la televisión. En principio, cualquier motor diesel puede usar un aceite vegetal como combustible en una situación de emergencia y por cortos períodos de tiempo; sin embargo, bajo estas condiciones se sacrifica el desempeño y la eficiencia, además de tener un aumento de emisiones y riesgo de reducción de durabilidad.

En los motores diesel la formación de la mezcla y la combustión ocurren con la inyección del combustible en un ambiente de aire comprimido y muy caliente. Para una buena combustión, es necesario que la distribución estadística del tamaño de las gotas de combustible sea adecuada. Esto se hace a través del sistema de inyección, con su geometría, presión y dosis determinadas para cada motor, en cada condición de operación. Para que el chorro de combustible y la combustión sean adecuados, algunas propiedades del combustible son determinantes: viscosidad, densidad, tensión superficial, número de cetano y volatilidad.

De esta forma, al cambiar un combustible por otro con propiedades muy diversas, cambiarán las condiciones para la buena combustión, y el motor perderá desempeño y/o durabilidad. La figura 1 mostró esquemáticamente un triglicérido (componente principal de los aceites vegetales o gorduras animales). Las figuras 2 y 3 muestran, con la misma forma esquemática, el biodiesel y el diesel. De forma muy sencilla y esquemática, un triglicérido puede producir tres moléculas de biodiesel (iguales o no); cada molécula de biodiesel es químicamente más próxima a una molécula típica de diesel que el triglicérido que la originó y las propiedades del biodiesel son más próximas a las propiedades del diesel.

Figura 2**ESQUEMA DE TRES MOLÉCULAS DE BIODIESEL****Figura 3****ESQUEMA DE UNA MOLÉCULA TÍPICA DE DIESEL**

Diesel

El Cuadro 6 compara algunas propiedades del aceite diesel, aceites vegetales y biodiesel producido de algunos de estos aceites. Como se puede ver, los aceites vegetales (mezclas de triglicéridos) poseen una viscosidad mucho mayor que el diesel y ésta es la razón principal de los problemas para el uso directo de aceites vegetales en motores diesel sin alteraciones.

Cuadro 6**COMPARACIÓN DE PROPIEDADES: DIESEL, ACEITES Y BIODIESEL**

Combustible	Poder calorífico	Densidad	Índice de Yodo	Viscosidad	Número Cetano	Punto Fulgor
	kJ/kg	g/litro	-----	mm ² /s 38 °C		°C
Diesel	45 343	810-870	-----	1,5-4,5	45	58
Aceite de soja	39 623	914	117 – 143	32,6	38	230
Biodiesel soja	39 760	885	125 - 140	4,1 (40 °C)	48 ^a	156
Aceite girasol	39 575	918	110 – 143	37,1	37	274
Biodies. girasol	40 579	878	126	8,5	49	183
Aceite algodón	39 468	912	90 – 119	33,5	42	234
Biodie. algodón	40 580	880	106	3,8	51	110
Aceite de colza	39 709	914	94 – 120	59	38	246
Biodiesel colza	40 880	874	97	6,0 (40 °C)	54	174
Aceite de maíz	39 500	915	103 – 140	34,9	38	277
Biodiesel freír	39 700	872	123	5,8 (40 °C)	58	124
Biodie. Ganado	39 400	876	30-56	4,1 (40 °C)	68	157
Biodie. Cerdo	--	870	60-70	3,9	65	--
Biodiesel Coco	---	---	15-40	2,6 (40 °C)	68	104
Biodi. Jatropha	39 340	881	--	3,6 (40 °C)	58 ^a	174
Biodiesel Palma	36764	868	44-58	5,3 (40 °C)	62	191

Fuente: Knothe y otros (1997), NREL/SR-580-24089, p.173, Allen y Watts (2000).

a/ Gran dispersión de resultados.

A inicio de los años ochenta, después de la segunda crisis del petróleo, varios países intentaron sustituir el diesel por aceites vegetales. Para motores diesel equipados con inyectores mecánicos en línea y pre-cámara de combustión, los menos eficientes y que no exigió mucha precisión del inyector, se logró la sustitución del diesel, aunque operando con pérdidas de potencia y de eficiencia y con aumento de emisiones, siendo suficiente precalentar el aceite vegetal.

Para motores de inyección directa, aún no se puede obtener más de una decena de horas de operación sin fallas. Hoy, los motores equipados con pre-cámara son la excepción. La necesidad de mejores eficiencias y reducción de emisiones de contaminantes hace que los fabricantes de motores diesel empleen cada vez más los conceptos de inyección directa y control electrónico de inyección. Actualmente, pocos fabricantes producen motores de pre-cámara.

Todas las investigaciones enfocadas en el uso de aceites vegetales en motores diesel mostraron problemas similares: formación de “coke” o gomas en los inyectores, reducción de potencia y de eficiencia, depósitos de carbón, desgaste en los anillos de segmento y dilución del aceite lubricante por contaminación con aceite vegetal (Maziero, 2006). Muchos de estos efectos fueron observados aun cuando se suministraba una mezcla de 85% de diesel con 15% de aceite vegetal.

El cuadro 7 muestra los problemas que se observan en el motor cuando se emplean aceites vegetales puros. Se debe notar que las posibles soluciones a estos problemas están asociadas a modificaciones en el motor y al calentamiento del aceite, para reducir su viscosidad y tensión superficial, logrando mejor atomización.

Los problemas descritos arriba no ocurren de la misma forma para todos los motores, varían de motor a motor en grado e intensidad. En cada caso, es necesario verificar qué acciones deben ser tomadas en cuenta para que un determinado motor pueda operar con aceite vegetal como combustible. Es evidente, entonces, que no se puede emplear aceites vegetales en motores diesel sin hacer modificaciones ya sea en el aceite o en el motor. Por lo tanto, se presentan dos alternativas técnicas viables, como se indica en la figura 4.

La opción más común es hacer la modificación del aceite vegetal para condiciones más similares al diesel de petróleo para así poder emplear el combustible en todos los vehículos en uso, sin ninguna alteración en los motores o en el sistema de combustible del vehículo.

Muchos sectores plantean el uso de los aceites vegetales puros (SVO – Straight Vegetable Oil, o PPO – Pure Plant Oil) o en mezcla con diesel con el objeto de reducir costos. En estos casos, el motor debe ser especialmente preparado para recibir la mezcla, para que su durabilidad no sea afectada. En Alemania, la empresa (Elsbett) intentó hacer un motor específico para el aceite vegetal, pero no logró éxito comercial. La propuesta del biodiesel es opuesta: modificar químicamente el aceite vegetal de forma que sus propiedades sean más próximas a las del diesel de petróleo y usar el biodiesel sin ninguna alteración en el motor.

Cuadro 7

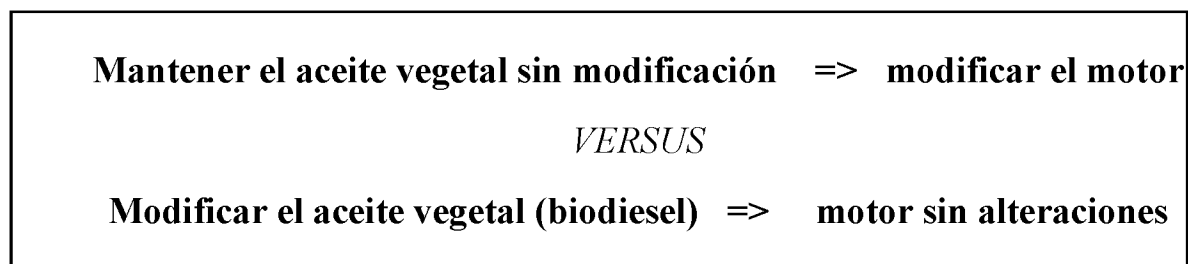
PROBLEMAS EN EL MOTOR DIESEL CON USO DE ACEITES VEGETALES

Problema	Causas probables	Solución potencial
Corto plazo:		
Arranque a frío	Alta viscosidad del aceite Bajo número de cetano Bajo punto de enturbamiento	Previo a la inyección, calentar el combustible
Obstrucción de filtros, tuberías e inyectores	Gomas naturales y cenizas presentes en el aceite	Emplear aceite desgomado Filtrar el aceite a 4 micrones
Detonación	Bajo número de cetano Inyección fuera de tiempo	Cambiar el punto de inyección. Calentar el aceite
Largo plazo:		
Formación de coque en los inyectores y pistón	Alta viscosidad Combustión incompleta Cargas parciales	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas
Depósitos de carbón en el pistón y culata del motor	Alta viscosidad Combustión incompleta Cargas bajas	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas
Desgaste excesivo del motor	Alta viscosidad Combustión incompleta Ácidos grasos libres (FFA) Dilución del lubricante	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas Usar aditivos p/ lubricante
Fallas en la lubricación	Polimerización de poli-insaturados Ácidos grasos libres (FFA)	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas Usar aditivos p/ lubricante

Fuente: Ma & Hanna, 1999

Figura 4

OPCIONES TÉCNICAS PARA SUSTITUCIÓN DEL DIESEL POR ACEITES VEGETALES



En la Unión Europea, el uso del aceite vegetal puro como biocombustible está previsto en la Directiva 2003/30/EC (European Parliament, 2003), que promueve el uso de biocombustibles. A partir de que el aceite vegetal sea aceptable para el motor a que se destina y que las emisiones de gases contaminantes estén dentro de los límites para el uso específico, el aceite vegetal se considera como biocombustible en los marcos legales de la Unión Europea.

En Alemania existen algunas oficinas (Elsbett & Bialkowsky, 2003) que hacen las adaptaciones para que los motores puedan aceptar aceites vegetales, y se estima que alrededor de 5.000 vehículos estén operando con aceites vegetales. Los costos para adecuar el motor al consumo de aceite vegetal varían entre € 1.200 y € 6.000 (US\$ 1.700 y US\$ 7.500), de acuerdo a

las necesidades de cada motor. En los casos más sencillos, se hace el calentamiento del aceite vegetal hasta que su viscosidad permita la atomización en el motor. El diesel es usado para el arranque y calentamiento del motor y después se cambia al aceite vegetal. Cuando son pequeñas alteraciones, el motor puede volver a operar con diesel; cuando las modificaciones son mayores, incluyendo nueva calibración del sistema de suministro de combustible y cambio de los inyectores, el motor no podrá ser operado con diesel, excepto como emergencia. Es importante resaltar que las modificaciones del motor serán válidas solamente para un aceite vegetal dato y este deberá tener propiedades y calidad controladas.

En Alemania, se estableció un patrón de calidad para el aceite de colza (rapeseed) para su uso directo en vehículos (RK-Qualitätsstandard, 2000). Otros países de la Unión Europea adoptan el patrón de Alemania, que se aplica sólo para el aceite de colza. No existe un sistema de distribución para aceite vegetal combustible ya que las adquisiciones dependen de otro tipo de logística y no de la cadena de distribución de hidrocarburos.

Si todo el aceite de colza producido en rotación de producción (ver la descripción adelante) fuera empleado como combustible, solamente se cubriría un 9% del total de la energía usada en la Unión Europea para transportes. Es decir, en un escenario optimista, el aceite de colza respondería a una pequeña parte de la demanda para transportes.

Desde el punto de vista ambiental, existen pocos estudios sobre las emisiones de motores que operan con aceites vegetales. Datos preliminares indican que las emisiones de CO e hidrocarburos no quemados son menores, con aumento de emisiones de NOx y de partículas finas. Las emisiones de CO₂ de origen fósil, son muy bajas. En los Estados Unidos la conversión de un vehículo para el uso de aceite vegetal no es legal por no atender las determinaciones de la US Environmental Protection Agency (EPA).

Como existen muchos obstáculos estructurales (garantizar la calidad del aceite, necesidad de modificar motores, necesidad de nueva estructura de distribución, etc.) es difícil imaginar que el uso de aceite vegetal en motores crezca mucho. Un nicho de mercado puede ser el sector agrícola, donde el aceite vegetal puede ser obtenido a mejores precios. El combustible es parte de los costos agrícolas (exento del VAT) y existen tanques locales (independencia de sistema de distribución). Soluciones locales pueden ser viables. Los precios de aceite de colza para combustible (exento de impuestos) son hasta 25% más bajos que el diesel de petróleo en Alemania.

Como la solución que permite mayor facilidad para la comercialización es la transformación del aceite vegetal en biodiesel por permitir su empleo en toda la flota diesel existente sin restricciones, esta solución ganó mayor aceptación. Por lo mismo, al igual que por su viabilidad técnica el uso de aceites vegetales puros no encuentra gran penetración y tiende a mantenerse restringido a pocos usos.

3. El biodiesel: definición y características técnicas

a) Definición de biodiesel

El nombre “biodiesel” es aplicado a combustibles que se prestan a sustituir total o parcialmente el diesel de petróleo, en particular en el empleo en motores a pistón de encendido

por compresión (los llamados “motores diesel”). El prefijo “bio” se usa para caracterizar el origen biológico del producto, obtenidos de aceites vegetales o grasas animales. La palabra “biodiesel” se difundió por todo el mundo, aunque no siempre ganó la misma aceptación. Existe, por tanto, controversia en la definición de “biodiesel”. Esto queda muy claro en el *Internet* cuando las personas llaman “biodiesel” a cualquier combustible para motores diesel que sea originado de vegetales o animales, como el aceite usado para freír, sin cualquier tratamiento (como ejemplo, véase Aziz y otros, 2005).

Las definiciones de “biodiesel” que poseen mayor consistencia técnica son aquellas que caracterizan su composición química (mono-alquil ésteres de ácidos grasos), su origen (vegetal o animal), su empleo (motores diesel) y sus características técnicas (especificaciones).

Biodiesel es definido por el World Customs Organizations (WCO) como “una mezcla de mono-alquil ésteres de ácidos grasos de cadena carbónica larga (16-18 carbonos) derivado de aceites vegetales o grasas animales, que constituye un combustible domestico renovable para motores diesel y que cumple las especificaciones ASTM D 6751.”

En el 2003, el Congreso de Estados Unidos propuso para fines de tasación, la definición siguiente: “El término “biodiesel” significa mono-alquil ésteres de ácidos grasos de cadena carbónica larga derivado de material vegetal o animal que obedezca (A) los requisitos de registro para combustibles y aditivos para combustibles establecidos por la Environmental Protection Agency bajo la sección 211 del Clean Air Act (42 U.S.C. 7545), y (B) los requisitos de la American Society of Testing and Materials D6751”.

En la Unión Europea, el uso de biocombustibles para transportes recibe atención y su promoción fue motivo de una Directiva del Parlamento Europeo (Directive 2003/30/EC). En esta Directiva, válida para todos los Estados miembros, la definición de biodiesel es: “metil-ésteres producidos de aceites vegetales o animales, con calidad de diesel, para ser usado como biocombustible.”

En Brasil, la definición legal del biodiesel aún no posee consistencia técnica: el biodiesel es definido a partir de su origen (aceites o grasas) y de su empleo (sustituto del diesel de petróleo), sin hacer mención al proceso de producción ni a su composición química (Ley 11.097, de 13 de enero de 2005): “Biodiesel: biocombustible derivado de biomasa renovable para uso en motores de combustión interna con encendido por compresión o conforme reglamento, para generación de otro tipo de energía, que pueda sustituir parcial o totalmente combustibles de origen fósil”. De este modo, diversos productos pueden ser llamados de “biodiesel” desde el punto de vista de la Ley: los alquil-ésteres de aceites grasos, los productos del *cracking* térmico o catalítico de aceites y grasas y los aceites vegetales “in natura”. Cualquier producto de origen renovable que pueda ser empleado en sustitución al diesel de petróleo puede, en principio, llamarse “biodiesel”.

Esta característica legal muy amplia es perjudicial para la definición de las especificaciones técnicas del biodiesel. La Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural e Biocombustibles (ANP) es el órgano de gobierno encargado de establecer las especificaciones técnicas de los combustibles derivados de petróleo y biocombustibles. Por suerte, la especificación del biodiesel (Portaria ANP N.240/2003) se encontraba en vigor antes que fuera

aprobada la Ley 11.097, por lo que las características técnicas se aplican a mono-alkil ésteres de ácidos grasos. No es posible establecer especificaciones que incluyan todas las posibilidades técnicas que están bajo una definición legal tan amplia de “biodiesel” como la adoptada en Brasil.

b) Los mono-alkil ésteres de ácidos grasos – características

El biodiesel es una mezcla de mono-alkil ésteres, cuya composición depende de la materia prima empleada, es decir, de la proporción de cada tipo de ácido graso en el aceite o grasa empleada. En la figura 2 se mostró un esquema de las moléculas típicas del biodiesel (mono-alkil ésteres). Para mayores detalles químicos sobre los ácidos grasos y los alkil-ésteres derivados de ellos, véase el Anexo III.

El biodiesel puede ser empleado puro o en mezclas con el diesel de petróleo. Las mezclas son denominadas BXX, donde XX es el porcentaje de biodiesel en la mezcla. Así, B2 contiene 2% de biodiesel en diesel, B20 contiene 20% de biodiesel y B100 es el biodiesel puro.

Durante el siglo XX, se intentó emplear los aceites vegetales puros en motores en varias ocasiones, pero con los problemas ya relatados. Entonces, se intentaron realizar varias modificaciones químicas de los aceites vegetales con el objeto de de forma a tornarlos más aceptables a los motores diesel.

Mensier (1952) fue uno de los precursores del uso de ésteres metílicos de ácidos grasos para sustituir el diesel. En sus estudios, trabajó con aceite de palma y metanol como materias primas para el proceso de transesterificación de los triglicéridos del aceite. El producto obtenido (ésteres puros, conocidos como B100), que hoy se llama biodiesel, fue probado en varios motores diesel sin presentar los problemas típicos del uso de aceites vegetales puros (SVO). En sus mediciones, el consumo del motor operando con la mezcla de ésteres creció en un 5,3% (en masa) y 3,2% (en volumen) con relación al consumo de base (diesel), valores compatibles con las características técnicas de los ésteres y del diesel.

Para mayores detalles acerca del manejo y uso del biodiesel, se recomienda el texto del US Department of Energy (2006), que contiene mucha información sobre el B100 y el B20.

Las ventajas del uso de biodiesel son ya conocidas y bien divulgadas. Las características descritas abajo pertenecen al B100; para mezclas, las ventajas (y desventajas) son menores cuando menor es el porcentaje de biodiesel en la mezcla con diesel de petróleo:

- El biodiesel es un recurso renovable, biodegradable y no tóxico.
- Por ser renovable, parte del dióxido de carbón emitido en la combustión no contribuye al efecto invernadero.
- Es oxigenado, lo que hace que produzca menores emisiones de monóxido de carbón, de hidrocarburos no quemados y de partículas de humo. Esto contribuye a la reducción de la contaminación del aire de las ciudades.
- Requiere pocas o ninguna alteración en el motor.
- Posee número de cetano alto y excelente lubricidad (véase adelante).
- El manejo es más seguro, pues posee *flash point* (punto de inflamación) muy alto.

- Puede contribuir a reducir la dependencia de combustible fósil del país.
- Puede contribuir al desarrollo rural e industrial.
- Puede generar oportunidades de empleo, especialmente en la agricultura.
- Puede contribuir a la reducción de importaciones de diesel.
- Puede ser elegible para proyectos de créditos de carbón.

Su empleo también posee algunas desventajas, que deben ser conocidas y consideradas para su utilización correcta:

- El biodiesel posee alrededor de 8% menos energía por litro que el diesel. La potencia y el consumo del motor serán afectados en general, negativamente.
- El biodiesel produce emisiones de NOx mayores que las producidas por el diesel. Desde el punto de vista de contaminación ambiental, ésta es su única desventaja.
- El biodiesel es un buen solvente, por lo que puede disolver sedimentos presentes en el sistema de combustible del motor y causar obstrucción de filtros en su primer uso en motores que operan con diesel. Se recomienda hacer una limpieza de todo el sistema de combustible al cambiar de diesel a biodiesel.
- El biodiesel se oxida con más rapidez que el diesel, característica que puede ser un problema para el almacenamiento a largo plazo para este producto. El biodiesel viejo se vuelve ácido y forma sedimentos saliendo de los estándares de calidad.
- El biodiesel no tiene buenas propiedades para condiciones de temperatura ambiente baja (punto de enturbamiento, punto de obstrucción de filtros, punto de escurrimiento (véase adelante). Este es un problema para países donde con frecuencia se observan temperaturas ambientes debajo de 10°C. A bajas temperaturas, el biodiesel empieza a solidificar y puede obstruir los filtros, parando el motor o sin encender la ignición de partida.
- El producto no es compatible con algunos materiales, en especial algunos compuestos de caucho usados en conductos y sellos.
- El biodiesel no es compatible con algunos tipos de materiales plásticos y con el cobre y sus aleaciones (bronce, etc.), plomo y zinc.
- El biodiesel puede causar obstrucción de filtros a temperaturas mayores, en caso de presencia de contaminantes (agua y sales alcalinas) o por polimerización por oxidación. El biodiesel producido con calidad, almacenado con cuidado y que no esté viejo, no presenta estos problemas.

Las características y propiedades de un biodiesel en particular serán determinadas por el porcentaje de cada ácido graso presente en el aceite o grasa de donde fue producido. El Cuadro 8 muestra algunas propiedades de los ácidos grasos encontrados más frecuentemente en los aceites vegetales. La nomenclatura del acrónimo indica el tamaño de la cadena de carbón y la existencia de enlaces dobles: C18:1 indica que la cadena carbónica es de 18 átomos de carbón y existe un enlace doble en la cadena. Los enlaces dobles caracterizan el grado de saturación del ácido: los saturados no poseen enlaces dobles de carbón; los insaturados poseen un enlace doble y los poli-insaturados poseen dos o más enlaces dobles. Como se observa en el cuadro 8, el punto de fusión crece con el tamaño de la cadena de átomos de carbón y, para un mismo número de átomos de carbón, con la saturación. Los poli-insaturados poseen los más bajos puntos de fusión. De modo general, el número de cetano, el calor de combustión, el punto de fusión y la viscosidad aumentan con el tamaño de la cadena carbónica y disminuyen con el aumento de la insaturación.

Cuadro 8

ALGUNAS PROPIEDADES DE ÁCIDOS GRASOS

Ácido graso	Acrónimo	Masa molecular	Punto de fusión °C	Punto de Ebullición °C	Número Cetano	Calor de combustión Kcal/mol
Caprílico	C8:0	144,22	16,5	239,3	--	--
Cáprico	C10:0	172,27	31,5	270,0	47,6	1 453,07
Láurico	C12:0	200,32	44,0	231,0	--	1 763,25
Mirístico	C14:0	228,38	58,0	250,5	--	2 073,91
Palmítico	C16:0	266,43	63,0	350,0	--	2 384,76
Estearico	C18:0	284,48	71,0	360,0	--	2 696,12
Oléico	C18:1	282,47	16,0	286,0	--	2 657,4
Linoléico	C18:2	280,45	-6,0	230,0	--	--
Linolênico	C18:3	278,44	-11,0	232,0	--	--
Erúcico	C22:1	338,58	33,0	265,0	--	--

Fuente: Briggs y otros, 2005.

Cuadro 9

PROPIEDADES DE MONO-ALQUIL ÉSTERES PUROS

Éster de ácido	Masa molecular	Punto de fusión °C	Punto de Ebullición °C	Número Cetano	Calor de combustión Kcal/mol
Metil-Caprilato	158,24	--	193,0	33,6	1313,00
Metil-Cáprato	186,30	--	224,0	47,7	1625,00
Metil-Láurato	214,35	5,0	266,0	61,4	1940,00
Metil-Miristato	242,41	18,5	295,0	66,2	2254,00
Metil-Palmitato	270,46	30,5	418,0	74,5	2550,00
Metil-Esteárate	298,51	39,1	443,0	86,9	2859,00
Metil-Oléato	296,49	-20,0	218,5	47,2	2828,00
Metil-Linoleato	294,48	-35,0	215,0	28,5	2794,00
Metil-Linolenato	292,46	-57,0	109,0	20,6	2760,00
Metil-Erúcato	352,60	--	222,0	76,0	3454,00

Fuente: Briggs et al, 2005

El Cuadro 9 muestra algunas propiedades de cada tipo de mono-alkil éster, que pueden ser comparadas con aquellas de los ácidos grasos que les dieron origen. Se debe notar que algunos de estos ésteres poseen un punto de fusión muy alto —el origen del problema del uso de B100 a bajas temperaturas ambientes.

Las propiedades de cada biodiesel serán determinadas por el porcentaje de cada éster presente en la mezcla. Por ejemplo, una determinada muestra de biodiesel de soya posee la siguiente composición de ácidos grasos: 11,3% de metil palmitato (C16:0), 3,5% de metil estearato (C18:0), 22,5% de metil oleato (C18:1), 54,6% de metil linoleato (C18:2) y 8,1% de metil linolenato (C18:3). Entonces, las propiedades de este biodiesel serán la combinación de las propiedades de cada uno de sus ésteres componentes.

Para evaluar como varían las propiedades del biodiesel de diversas materias primas, es interesante usar el criterio de saturación de las cadenas de ácidos grasos. El cuadro 10 indica, de modo cualitativo, como la saturación afecta tres propiedades importantes: el número de cetano, el punto de enturbamiento y la estabilidad a oxidación. El biodiesel producido por ácidos grasos saturados posee mayor número de cetano y estabilidad que los insaturados, pero es difícil de emplear en bajas temperaturas (alto punto de enturbamiento).

Cuadro 10

PROPIEDADES DEL BODIESEL EN FUNCIÓN DE SU COMPOSICIÓN

	Saturados	Mono-Insaturados	Poli-insaturados
Ácido graso	C12:0 a C22:0	C16:1 a C22:1	C18:2; C18:3
Número de cetano	Alto	Medio	Bajo
Punto de enturbamiento	Alto	Medio	Bajo
Estabilidad	Alto	Medio	Bajo

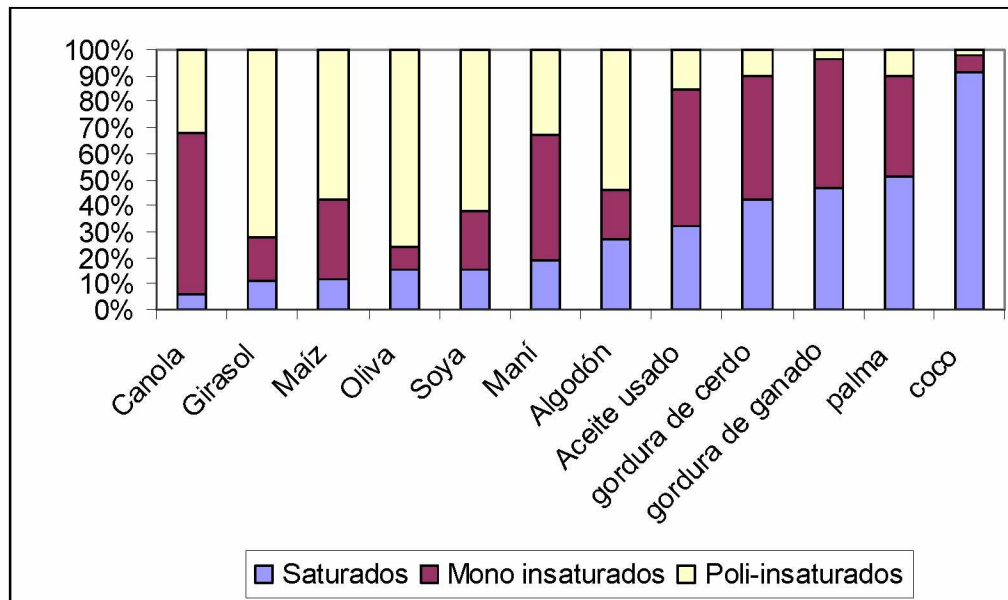
Fuente: USDOE, 2006

El gráfico 1 adaptado también de USDOE (2006), presenta las composiciones típicas de ácidos saturados, mono-insaturados y poli-insaturados para diferentes oleaginosas y grasas animales.

Tomando en cuenta la información del gráfico 1, es posible prever el comportamiento del biodiesel producido de cada materia prima; por ejemplo, los biodieseles producidos de coco o de palma tendrán los mayores números de cetano y la mayor estabilidad, pero serán de empleo muy difícil en bajas temperaturas. Por otro lado, el biodiesel producido de girasol tendrá menor número de cetano y menor estabilidad, pero tendrá mejores propiedades para uso en bajas temperaturas.

Gráfico 1

COMPOSICIÓN DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS



Fuente: USDOE 2006, biodiesel.

c) La calidad del biodiesel

Es muy importante fijar estándares de calidad para el biodiesel, teniendo en cuenta que, como se ha mostrado arriba, las propiedades del biodiesel varían de acuerdo con su origen (materia prima). Además, como se mostrará más adelante, en el proceso de fabricación del biodiesel se pueden formar contaminantes en el producto final que deben ser eliminados para que el biodiesel producido tenga las características adecuadas a su uso en motores diesel. Esta es la razón principal por la cual los fabricantes de vehículos tienen una postura cautelosa para mantener la garantía de sus productos para uso de B100 o mezclas con porcentajes grandes de biodiesel.

Los principales estándares de calidad son las normas ASTM D6751-03 empleada en los Estados Unidos y la norma EN 14214 usada en la Unión Europea. A pesar de tener muchos puntos en común, estas dos normas también presentan algunas diferencias importantes.

La norma ASTM D6751 es considerada adecuada para mezclas B20 o menores. Para mezclas con mayores porcentajes de biodiesel, o para uso de B100, no existe aún consenso entre los fabricantes de biodiesel, de vehículos, de sistemas de inyección y usuarios en los Estados Unidos.

Como el biodiesel se propone a sustituir el diesel de petróleo, los estándares de calidad para biodiesel (ASTM, EU, u otras) incluyen propiedades típicas de diesel, y otras específicas para este nuevo combustible, definiendo valores máximos, mínimos o el rango permitido para cada característica, así como el método de medición de cada característica. Las normas ASTM D6751 y EN14241 difieren en muchos aspectos: ni todas las propiedades son comunes y, aunque las propiedades pueden estar en ambas normas, los métodos de medida pueden ser diferentes. Para fines legales, sólo es considerado como biodiesel el producto que atienda todos los requisitos de la norma en uso en el país. Por ejemplo, el biodiesel de soya (aceptado como tal en Estados Unidos) no se califica como biodiesel en la Unión Europea por no atender a todas las características de la norma europea.

El cuadro 11 presenta una comparación entre los parámetros usados en las normas norteamericanas ASTM D975-04c (diesel) y ASTM D6751 (biodiesel) y las normas europeas, EN 590:2004 (diesel) y EN 14241:2003 (biodiesel). Los métodos de medida para cada propiedad fueron omitidos por claridad.

Las propiedades de las que constan las normas y especificaciones de calidad están asociadas a determinadas características que deben ser controladas para que la calidad del producto sea garantizada al consumidor:

- El *flash point* mínimo es definido para la seguridad del manejo del producto (inflamabilidad) y para garantizar que el biodiesel no posea mucho metanol libre, que hace caer el *flash point* (0,5% de metanol hace el *flash point* caer debajo de 55 °C). En la norma europea, la máxima cantidad de metanol es definida de forma explícita.
- La cantidad de agua y sedimentos indica presencia de agua contaminando el combustible, lo que puede causar corrosión y ambiente para micro-organismos. La oxidación del biodiesel hace aumentar la cantidad de sedimentos, por lo que esta propiedad puede ser

usada para evaluar si el biodiesel está “viejo” por oxidación. La norma europea mide separadamente agua, contaminantes y estabilidad a la oxidación.

Cuadro 11

ESPECIFICACIONES DE DIESEL Y BIODIESEL: EUA Y UE

Propiedad	Norma unidad	Estados Unidos		Unión Europea	
		ASTM 975 – 04c diesel	ASTM 6751-03a biodiesel	EN 590: 2004 diesel	EN 14241: 2003 biodiesel
Flash point	°C	38 (n.1D) 52 (n.2D)	130	55	120
Agua y sedimentos	% vol	0,05	0,05	---	---
Agua (max)	mg/kg	---	---	200	500
Contaminación total (max.)	mg/kg	---	---	24	24
Destilación (90% o 85%EU)	°C	<288 (n.1) 282-338	<360	<350	---
Viscosidad cinemática	mm ² /s	1,3 – 2,4 1,9 – 4,1	1,9-6,0	2,0 – 4,5	3,5- 5,0
Densidad	kg/m ³	---	---	820 - 845	860 – 900
Contenido de ésteres (min)	%vol	---	---	< 5	> 96,5
Cenizas (% peso, max.)		0,01	---	0,01	---
Cenizas sulfatadas (% peso, max.)		---	0,02	---	0,02
Azufre (% peso, max.)		0,05 o 15ppm	0,05 o 15ppm	50 o 10 ppm	10ppm
Corrosión al cobre		< n.3	< n.3	clase 1	clase 1
Número de cetano (min.)		40	47	51	51
Índice de cetano (min.)		> 40	---	46	---
Aromaticidad (% vol max.)		35	---	---	---
PAH (% peso max.)		---	---	11	---
Uno de estos: Punto de enturbamiento CFPP / LTFT	°C,	regional	reportar	local & estación	local & estación
Residuo de carbón (% peso max.)		0,15 (n.1) 0,35 (n.2)	0,05	0,30	0,30
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,80	---	0,50
Estabilidad a la oxidación	horas	---	---	---	> 6
Glicerina libre (% peso max.)		---	0,020	---	0,020
Glicerina total (% peso max.)		---	0,240	---	0,250
Contenido de fósforo (% peso max)		---	0,001	---	0,001
Número de yodo		---	---	---	< 120
Metanol (% peso max)		---	---	---	0,20
Metil-linolenato (% peso max)		---	---	---	12,0
Éster poli-insaturados (% peso max)		---	---	---	1,0
Mono-glicéridos (% peso max)		---	---	---	0,80
Di-glicéridos (% peso max)		---	---	---	0,20
Triglicéridos (% peso max)		---	---	---	0,20
Na + K	mg/kg	---	---	---	5,0
Ca + Mg	mg/kg	---	---	---	5,0
Lubricidad	µm	< 520	---	< 460	---

Fuente: ASTM 6751 y EN 14241

- La viscosidad es muy importante para determinar el tamaño promedio de las gotas que forman el chorro de combustible inyectado en el cilindro del motor. Si la forma del chorro y tamaño promedio de gotas de combustible es muy diferente de aquellos para el cual el motor fue proyectado, habrá problemas en la combustión, formación de depósitos, y el aceite de lubricación será contaminado por ésteres u otros productos de combustión incompleta.
- La cantidad de cenizas sulfatadas indirectamente mide la cantidad de álcalis del catalizador u otros compuestos que producen depósitos en el inyector o en el sistema de combustible.
- La cantidad total de azufre limita las emisiones de SO_x producidos en la combustión y que en la atmósfera producen ácidos de azufre.
- La corrosión al cobre indica si existen problemas con componentes de cobre o sus aleaciones en el sistema de combustible del motor.
- El número de cetano es una medida de la calidad de ignición y un indicador del comportamiento del combustible para empezar la combustión. Mayores números de cetano mejoran el arranque en frío, disminuyen los humos blancos de arranque, mejoran la durabilidad del motor y disminuyen el nivel de ruido del motor.
- El punto de enturbamiento y otros indicadores de operación en bajas temperaturas (Cold Flow Plug Point – CFPP / Low Temperature Flow Test – LTFT) muestran las menores temperaturas ambientes donde el biodiesel puede operar sin calentamiento.
- Los residuos de carbón miden la tendencia a formación de depósitos de carbón en el inyector y en la culata del motor.
- El número de acidez indica el aumento de la existencia de ácidos grasos libres en el biodiesel en caso de mala calidad del producto o de degradación por oxidación.
- Los valores altos de glicerina libre y total indican problemas de separación entre el biodiesel y la glicerina, así como conversión incompleta (mono, di y triglicéridos que no reaccionaron). La norma europea presenta de forma explícita los contenidos de glicéridos no transformados (mono, di y triglicéridos).
- El contenido de fósforo es una medida indirecta de la eficacia de la conversión. El fósforo puede arruinar los catalizadores de los motores.
- La determinación del punto de 90% recogido en la destilación ayuda a prever el comportamiento de la combustión, porque las gotas líquidas del biodiesel que entran en el motor deben evaporarse y mezclarse con el aire caliente de la compresión para entonces quemarse.
- La lubricidad del biodiesel es mucho mayor que la del diesel de petróleo con baja cantidad de azufre. En realidad, la adición de un 2% de biodiesel en el diesel mejora su lubricidad de forma importante (más de 50% - Hilber y otros, 2005). La lubricidad es importante porque el sistema de inyección posee alta precisión mecánica y es lubricado por el combustible.

Una comparación de propiedades para biodiesel producidos de diferentes materias primas ya fue presentada en el cuadro 6.

4. La producción de biodiesel

a) La cadena productiva del biodiesel

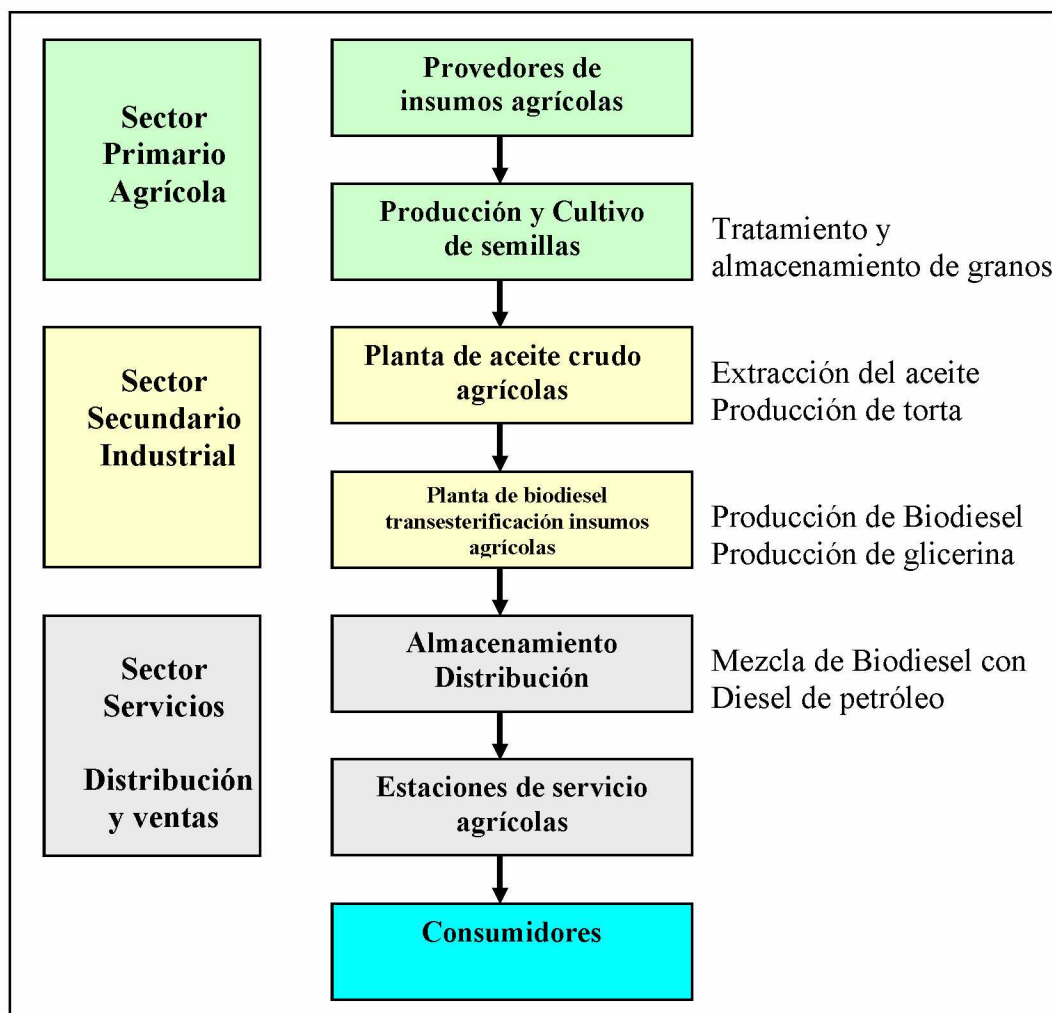
Desde el punto de vista conceptual, la producción de biodiesel a partir de aceites y grasas es muy sencilla: hacer la reacción de transesterificación de triglicéridos con un alcohol (en general el metanol) con presencia de catalizador alcalino y después separar las dos fases resultantes: el biodiesel y la glicerina. Esto se puede hacer con facilidad en cualquier laboratorio de química y al igual que en pequeñas instalaciones domésticas, lo que atrae la atención de las personas con la posibilidad de hacer su propio combustible.

Para producir biodiesel con la calidad necesaria para los motores diesel, de forma sostenible y posible de comercialización, el proceso de producción requiere mucho más. En realidad la producción comercial del biodiesel presupone la participación de los tres sectores productivos clásicos: el sector primario (agrícola), el sector secundario (industrial) y el sector terciario (servicios).

La figura 5 presenta la cadena productiva completa del biodiesel. El sector primario está representado por los proveedores de los insumos agrícolas y por la producción de las oleaginosas apropiadamente dichas: semillas o frutos.

Figura 5

LA CADENA PRODUCTIVA DEL BODIESEL



Además de producir oleaginosas, el sector agrícola también realiza otras funciones tales como el tratamiento básico y el almacenamiento del producto hasta su transporte al sector industrial. Una buena productividad agrícola es fundamental para que el aceite tenga costos bajos.

El sector industrial en principio posee dos etapas: la extracción del aceite de las oleaginosas y la producción del biodiesel. En general, estas dos etapas no están integradas. La etapa de extracción de aceite constituye una industria que está orientada a la producción de aceites en grados comerciales, y tiene varios procesos con la finalidad de obtener la calidad necesaria para cada uno de los usos del aceite, dictados por el mercado a ser atendido. Como ejemplos, el proceso puede ser muy sencillo como ocurre con la extracción del aceite virgen de oliva, o muy complejo, como el que ocurre con el aceite de soya para fines comestibles, que es desgomado, neutralizado, desodorizado y eventualmente hidrogenado.

La extracción del aceite puede hacerse de forma mecánica o con empleo de solventes. La extracción mecánica consiste en aplastar las semillas separando el aceite del producto restante, que forma la llama “torta”. Existen varios modelos de extractores mecánicos, cada uno más adecuado a ciertos tipos de oleaginosas o a la capacidad de la instalación: la prensa extractora que retira hasta 80% del aceite, la prensa tornillo un poco menos eficiente y la prensa hidráulica manual que es la menos eficaz y retira tan solo un 60%-65% del aceite.

Para obtener altas eficiencias de extracción (hasta 98%) con bajo costo, la extracción con solvente es la más eficaz. En general, se emplea el hexano como solvente. Esta técnica puede ser empleada después de la extracción mecánica o de forma aislada. El material oleaginoso es saturado con solvente y el aceite se disuelve en el solvente. La torta es separada de la fase líquida y después se hace la separación del solvente por destilación. El solvente es entonces reciclado para otra extracción. La torta posee aún un poco de hexano que debe ser retirado antes de su uso para alimentación animal.

La segunda etapa industrial es la producción del biodiesel a partir del aceite. En primer lugar, la materia prima debe ser preparada para una reacción eficiente. Para que la transformación de triglicéridos en biodiesel sea eficiente, es necesario poner considerable exceso de metanol, el cual quedará en la fase de la glicerina. El biodiesel producido en la transesterificación necesita ser purificado. Para que los subproductos puedan ser aprovechados, el metanol debe ser recuperado de la fase de glicerina y la glicerina, a su vez, debe ser purificada para poder ganar condiciones de comercialización. Esta etapa está detallada adelante.

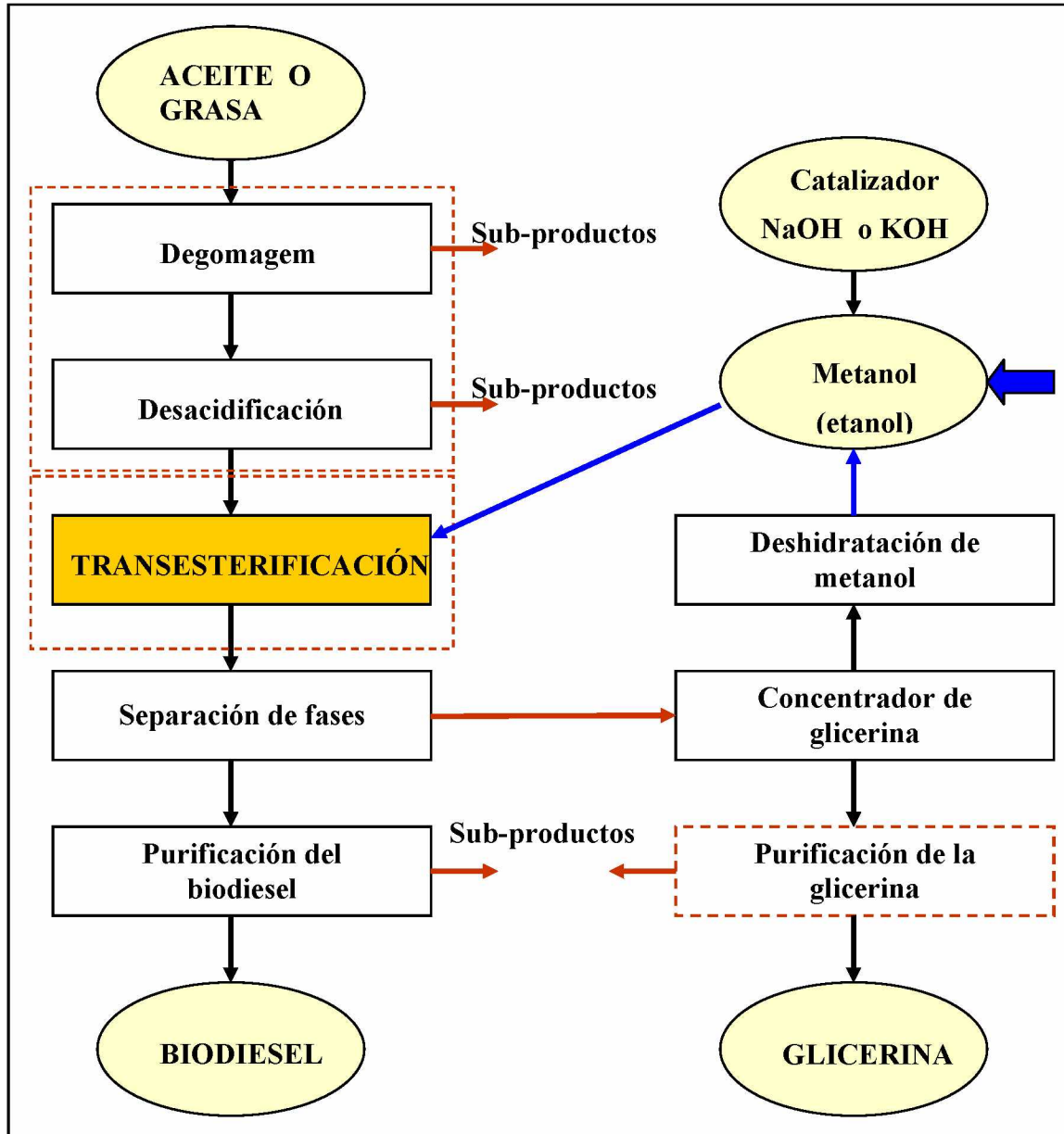
Después de producido, el biodiesel necesita llegar hasta los consumidores. En fases iniciales de implementación, el biodiesel puede ser distribuido para flotas o servicios que tengan su propio sistema de almacenamiento. Para la comercialización amplia, es necesario que los distribuidores de combustibles y estaciones de servicio estén integrados al proceso y preparados para almacenar el biodiesel, hacer la mezcla con diesel y atender a los consumidores individuales.

b) La planta de biodiesel

La figura 6 muestra de forma esquemática los diferentes procesos para la producción del biodiesel.

Figura 6

PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL



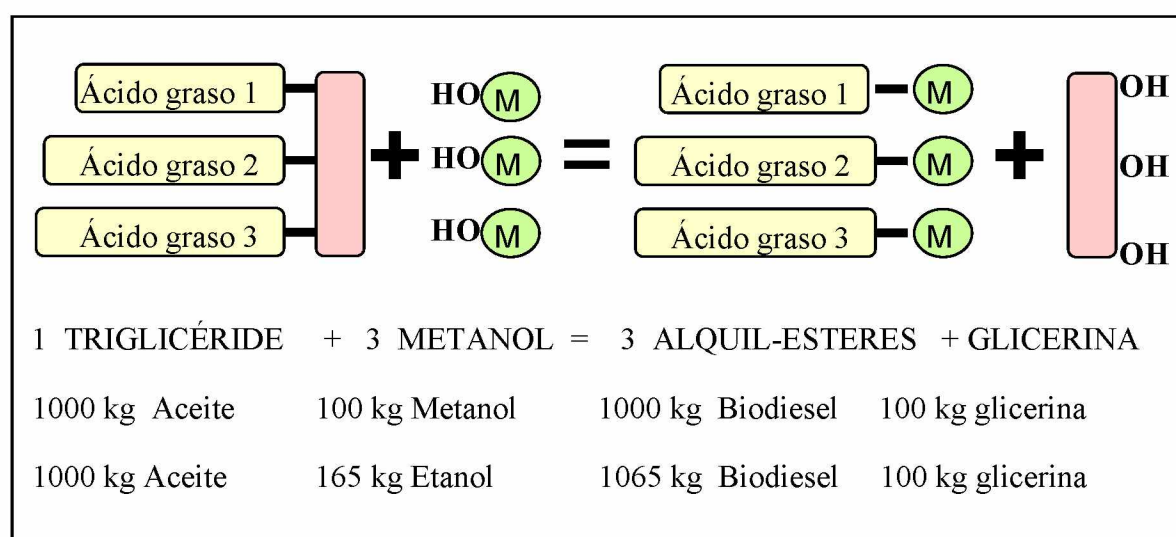
La primera etapa es la preparación de la materia prima. Esta etapa tiene como objetivo crear las mejores condiciones para hacer efectiva la reacción de transesterificación con alta tasa de conversión del aceite o grasa en biodiesel. Los aceites brutos necesitan ser desgomados. A veces, es necesario deshidratar la materia prima; otras veces es necesario reducir su acidez, causada por FFA's (free fat acids – ácidos grasos libres) que pueden comprometer la reacción de transesterificación y la calidad del biodiesel; otras veces, es necesario retirar materiales extraños y sales de la materia prima.

Para cada tipo de materia prima puede ser necesaria una combinación de procedimientos. Esta etapa es aquella que pone mayores dificultades para aprovechar aceites o grasas con propiedades muy variables, como ocurre con las materias primas alternativas, descritas abajo.

La reacción de transesterificación propiamente dicha es la etapa de conversión del aceite o grasa en biodiesel. En la figura 7 se muestra, de forma esquemática, el proceso de transesterificación: a cada molécula de triglicérido se adicionan tres moléculas de metanol produciendo tres moléculas de alquil ésteres (biodiesel) y una molécula de glicerina. Para mayores detalles sobre el mecanismo y las reacciones de transesterificación, véase el anexo IV.

Figura 7

ESQUEMA DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN



Es necesario resaltar, que la transesterificación es una reacción reversible. Entonces, para que la conversión en biodiesel de los triglicéridos presentes en el aceite sea alta, se necesita de metanol en exceso y un catalizador alcalino, generalmente el hidróxido de sodio o de potasio.

Las cantidades de aceite y metanol empleadas y las cantidades de biodiesel y glicerina obtenidas que se indican en la figura 7 son teóricas, pues no toman en cuenta las pérdidas del proceso ni el exceso de metanol. El cuadro 12 presenta los resultados reales obtenidos.

Cuadro 12

CANTIDAD DE BIODIESEL OBTENIDA DE 1.000 KG DE ACEITE

Materias primas		Productos del proceso	
Reactivos	Peso / kg	Productos	Peso / kg
Aceite	1 000	Biodiesel	942,4
Metanol	140	Glicerina + impurezas	206,9
Hidróxido de potasio	9,3	-----	----
Total reactivos	1 149,3	Total productos	1 149,3

Fuente: Candeia y otros, 2006

Después de la reacción, existen dos fases distintas: la fase del biodiesel (más ligera) y la fase de la glicerina (más pesada). La fase de glicerina está compuesta por glicerina bruta, impregnada por exceso de metanol, agua e impurezas de la materia prima. La fase de biodiesel está compuesta por una mezcla de ésteres metílicos (el biodiesel) impregnada también por impurezas, en particular el metanol. La separación de estas dos fases puede ocurrir por decantación o por centrifugación.

Acto seguido, los alquil-ésteres producidos (biodiesel) deben ser purificados, es decir, en general lavados y deshidratados, o filtrados para eliminar las impurezas y alcohol residual para garantizar la calidad adecuada del producto a los motores diesel, expresada a través de sus especificaciones técnicas.

La fase de glicerina bruta debe sufrir un proceso de concentración, con recuperación del alcohol, en general, por evaporación de los volátiles. En particular, la mayor parte del exceso de alcohol sale en esta fase.

Todo el alcohol recuperado está hidratado. Para poder ser reusado en la reacción, el alcohol debe ser deshidratado por destilación (caso del metanol) o por otros métodos (caso del etanol).

Para obtener mejores precios para la glicerina, la glicerina bruta puede ser purificada empleando destilación en vacío, resultando una glicerina límpida y transparente, de mayor valor económico. El residuo de este proceso, alrededor de 10% del peso inicial puede aún tener aplicaciones.

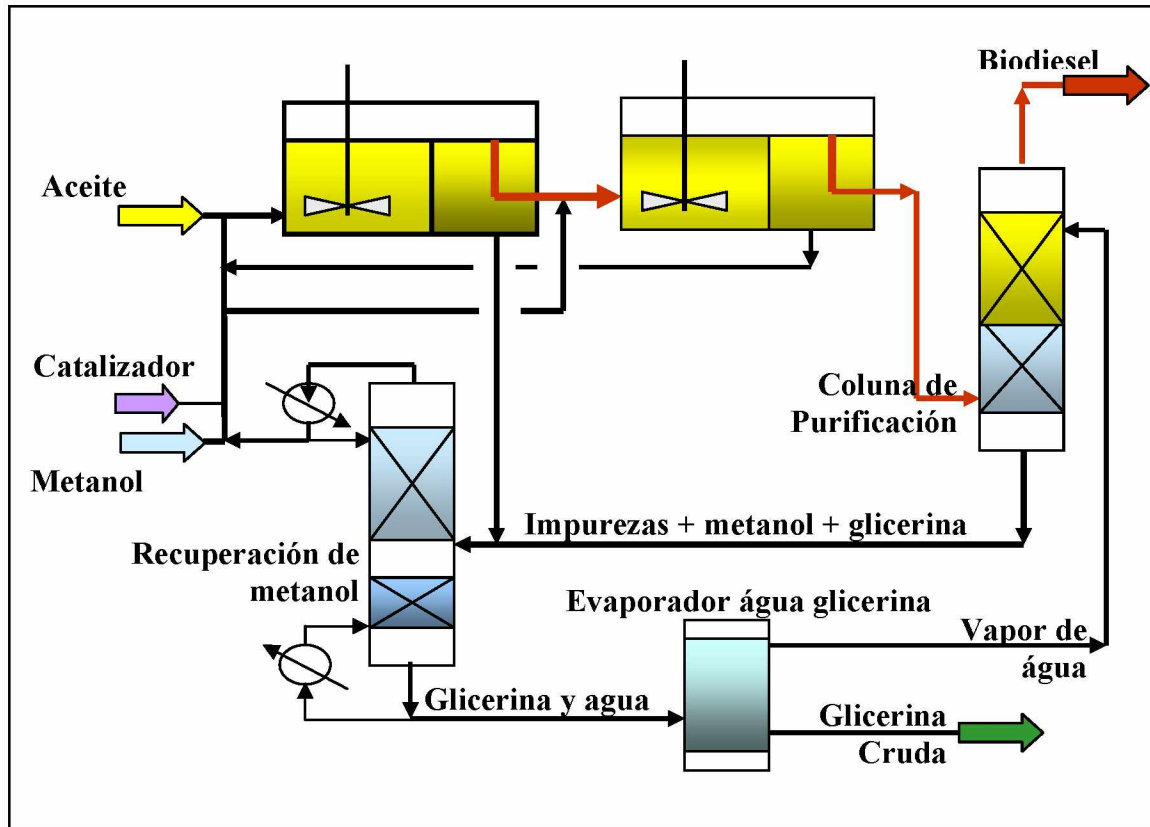
c) Los equipamientos de la planta de biodiesel

El montaje de una planta de producción de biodiesel puede ser hecha por encomienda a talleres del sector químico. Ya existen empresas especializadas en construir plantas de biodiesel para diversas capacidades de producción con proyectos modulares ya definidos. En primer lugar, se debe definir el tamaño de la planta, es decir, su capacidad de producción nominal. En segundo lugar, es necesario definir si el proceso de transesterificación operará por bateadas o en sistema de flujo continuo. En general, para instalaciones de menor capacidad y que no tengan un uso muy alto, el sistema por bateadas resulta más económico. Sistemas de mayor capacidad o en los que se emplearán régimen de producción continuada deben usar el sistema de esterificación en flujo continuo.

En la figura 8 se muestra el proceso Lurgi de producción en flujo continuo de biodiesel, el más empleado según Lurgi (2007). Aceite, metanol y catalizador alimentan el reactor 1, donde son mezclados; con la reacción de transesterificación, ocurre una separación de dos fases. La fase más ligera, constituida por ésteres y aceite, es drenada para el segundo reactor, donde recibe metanol y catalizador adicionales. Esta segunda etapa de reacción maximiza la eficiencia de uso del aceite, reduce la cantidad de mono y diglicéridos y mejora la calidad del biodiesel. También en este reactor ocurre la separación de fases, en donde la fase ligera (biodiesel) es conducida por una columna de purificación donde el biodiesel es lavado con agua, que remueve la glicerina y metanol residuales, así como otras impurezas. El producto final debe ser seco.

Figura 8

EL PROCESO LURGI DE PRODUCCIÓN CONTINUADA



La fase más pesada del reactor 2 contiene glicerina y aún mucho metanol y catalizador, por lo que es reciclada para el reactor 1. La fase más pesada del reactor 1 contiene glicerina, mucho metanol y otras impurezas y es conducida a un destilador que hace la recuperación del metanol, para reciclarlo. El agua empleada para lavar el biodiesel es conducida también para el recuperador de metanol. En la destilación, el metanol a ser reciclado sale en la parte de arriba y en el fondo sale una mezcla de agua, glicerina e impurezas. Para reducir el consumo de agua y hacer la concentración de la glicerina, esta mezcla va a un evaporador, donde el agua se evapora y es reconducida para la columna de purificación. La glicerina cruda posee una concentración alrededor del 80% y contiene las impurezas retenidas en el proceso. Para obtener mejores precios, la glicerina debe ser purificada por destilación.

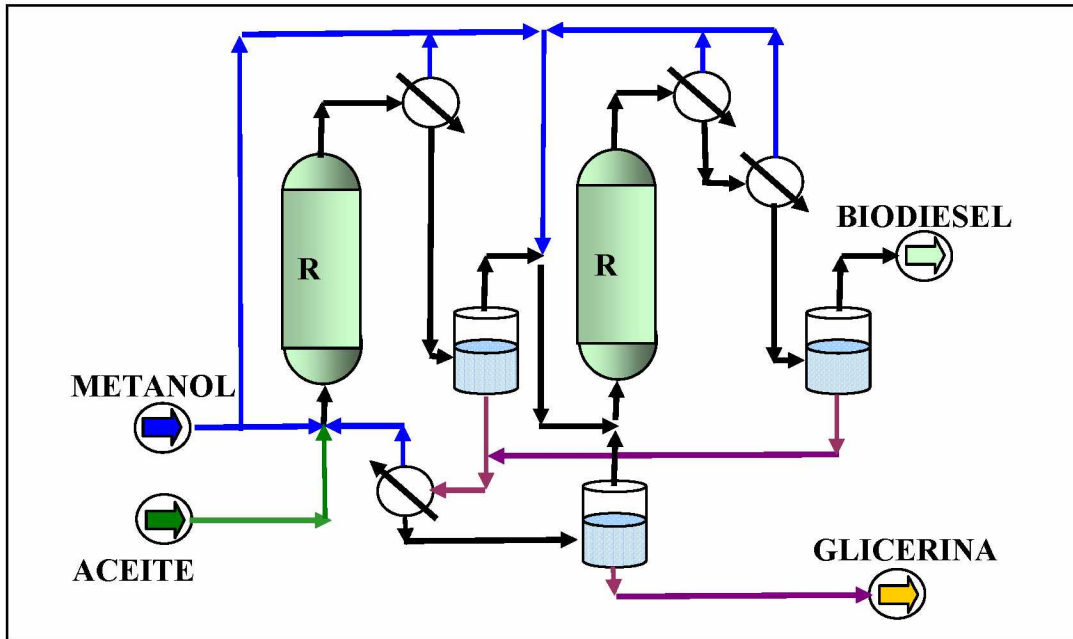
Las características más interesantes del proceso Lurgi son que puede ser adoptado para muchas materias primas diferentes, opera a presión atmosférica y con temperatura alrededor de 60°C, recupera metanol en exceso y el agua, la separación de fases ocurre por gravedad (no emplea centrifugas). Su eficiencia de conversión del aceite es de alrededor del 98%.

La empresa Axens, que desarrolla comercialmente los proyectos del Instituto Francés del Petróleo, hizo la propuesta de un sistema de producción de biodiesel también con dos reactores en serie, pero con catalizadores sólidos fijos, por lo que no es necesario alimentar el proceso con

catalizador y la separación del biodiesel y glicerina se vuelve más simple. La figura 9 presenta esquemáticamente el proceso que se presta a grandes volúmenes de producción.

Figura 9

EL PROCESO AXENS



Una planta de producción del biodiesel con este proyecto está en construcción en la ciudad de Beatrice, Estados Unidos, desde septiembre de 2006, con capacidad de producción de hasta 165.000 toneladas anuales. Utiliza como materia prima la soya y las especificaciones prevén la producción de biodiesel de alta calidad y glicerina de 98% de pureza. La inversión en la planta es de US\$ 52,5 millones y su operación está prevista para el año 2007.

Las ventajas anunciadas del proceso con catalizador sólido son la alta pureza de la glicerina (98% min.), la gran eficacia de conversión de aceite en biodiesel (~100%), la inexistencia de sub-productos a tratar (ni FFA, ni aguas de proceso), y que no hay consumo de sustancias químicas ni se maneja el catalizador (Cameron, 2005).

Las empresas que ofrecen equipos para producción de biodiesel pueden ser clasificadas en dos tipos: las tradicionales productoras de equipos, es decir, para la industria química, petroquímica u oleoquímica, y las empresas creadas para producir plantas de biodiesel. El cuadro 13 presenta algunas empresas escogidas que poseen plantas ya en operación. En el Internet se pueden encontrar muchas más, pero en general no están aún establecidas con plantas en operación para demostrar su capacidad técnica.

Cuadro 13

EMPRESAS QUE FABRICAN EQUIPOS PARA BIODIESEL.

Empresa – país	Ramo de actuación	Plantas en operación	Capacidad mil t/año
Lurgi AG - Alemania	Petroquímica, aceites	38	40 – 250
Savoia Power – Argentina	Biodiesel	30	0,25 – 1
Flowtec – Brasil	Equipos industriales	30 ^a	0,1 – 0 ,3 batelada 4 – 13 continuo
DesmetBallestra – Italia	Oleoquímica	19	10-100
BioDiesel Int. – Austria	Biodiesel	14	5 – 50
BioDieselTech/ BDT- Aust.	Biodiesel	10	3 – 7
Dedini S.A. – Brasil	Equipos azúcar/ alc.	5	20-100
Biodiesel Industries - USA	Biodiesel	4	10
Energea – Austria	Biodiesel	3	40 – 250
Renewable Energy – USA	Biodiesel	3	36 – 90
Axens – IFP - Francia	Petróleo y petroquim.	3	20 – 100
Nova Biosources – USA	Biodiesel	1	33
JatroDiesel – USA	Biodiesel	1	3 – 6

Fuente: Sitios de Internet de cada empresa.

a/ Las referencias presentadas son las mismas que las de la Savoia Power.

Algunas características de un dado proceso de producción pueden ser muy importantes para su implementación exitosa:

- La posibilidad de operar con varias materias primas, no sólo aceites de varias oleaginosas, sino también aceites usados reciclados y grasa animal.
- Control de olores de la planta, especialmente si la instalación de producción está próxima a residencias.
- Producción con baja generación de residuos que puedan impactar al medio ambiente, ya sean sólidos o líquidos (lama, aguas ácidas, etc.). El tratamiento y destino adecuados de estos residuos es fundamental para que la producción sea sostenible.

d) Las materias primas usuales

Para el proceso de transesterificación se emplean tres materias primas básicas: el aceite o grasa, el alcohol y el catalizador de la reacción. En situaciones en que el aceite deba ser tratado antes de la reacción, otros insumos serán necesarios. Lo mismo ocurre si la fase de glicerina es tratada a fondo.

Una discusión acerca de los aceites vegetales ya fue presentada al inicio de este capítulo. Los principales aceites en uso para producción de biodiesel son el aceite de colza en Europa, de soya en los Estados Unidos, y de palma en Malasia. Los aceites de girasol, de maní y de algodón también pueden ser empleados con facilidad. Otras oleaginosas pueden ser empleadas, pero el volumen de su producción no es aún adecuado. En particular, especies que no tienen uso actual para su aceite y son de alta productividad pueden tornarse muy importantes, como el piñón (tempate) y otras especies aún poco exploradas.

El alcohol que normalmente se usa es el metanol, aunque otros alcoholes de mayor cadena carbónica pueden también ser empleados, como el etanol, el propanol y el butanol. El metanol presenta mayor reactividad que los otros y menores costos. El metanol es un producto que proviene de la industria petroquímica. En general, es producido por gases de síntesis del gas natural. Desde el punto de vista ambiental, lo más correcto sería emplear un alcohol de origen renovable para que el bioetanol sea más interesante. Más adelante se hace una pequeña discusión sobre las ventajas y desventajas del metanol frente al etanol.

El metanol posee otros nombres, como metil alcohol, carbinol y alcohol de madera metil hidróxido. Su manejo es peligroso, no sólo por su volatilidad e inflamabilidad, como también ocurre para el etanol, pero también porque es tóxico. Su MSDS (material safety data sheet) presenta varias posibles consecuencias a su exposición (Oxford Univ, 2006):

- Toxicología: tóxico por inhalación, ingestión o absorción por la piel. Puede tener efectos en la reproducción humana. Su ingestión puede ser fatal. Riesgos de serios daños irreversibles si es bebido. La exposición puede causar daños a los ojos, hígado y corazón. Una exposición crónica o aguda grave puede causar incluso ceguera. Irritante. Narcótico. Límites de exposición: 200 ppm para largo plazo, 250 ppm para corto plazo.
- Para el manejo, se deben emplear protecciones individuales: lentes de seguridad, guantes y evitar inhalación.
- Para el transporte, códigos UN 1230, empaquetamiento grupo II. Clase de peligro 3.

La presencia de agua en el alcohol empleado en la reacción es muy dañina: inhibe la formación del metóxido de sodio o potasio (catalizador), reduce la velocidad de la reacción y favorece la formación de jabones, que son productos indeseables en la producción del biodiesel. Así, sea metanol o etanol, el alcohol debe ser anhidro.

Un catalizador es necesario para la reacción, pero los catalizadores pueden variar de acuerdo con el proceso de producción adoptado. El hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH) son los más eficaces y baratos. Algunos detalles de la participación de los catalizadores en el proceso pueden encontrarse en el Anexo IV. Aunque no sea consumido en la reacción, a veces es difícil separar y purificar el catalizador para su uso en una nueva carga. En general, son descartados con otros sub-productos. El hidróxido de potasio tiene la ventaja de ser usado como fertilizante agrícola.

Existen investigaciones destinadas a obtener nuevos catalizadores más eficaces, en especial los de fase sólida, que pueden ser separados de los productos de la reacción con facilidad y reciclados para el inicio del proceso.

e) Las materias primas alternativas

Los aceites vegetales son las materias primas usuales para hacer el biodiesel, aunque existen otras posibilidades como grasas animales y aceites descartados de procesamiento doméstico, comercial u industrial.

Muchas grasas animales poseen alto valor nutricional o económico (aceites de tuétano, algunos aceites de pescados); otras atienden a mercados de la química del jabón y cosmética;

otras todavía son de baja utilidad y no es raro que constituyen problemas ambientales asociados a la industrialización de la carne (de ganado, de pollo y de cerdo) o del cuero como en carnicerías. También en los tratamientos de alcantarillas se produce una borra, que es un sedimento espeso y aglutinado, rica en grasas. Las grasas animales más adecuadas a la producción del biodiesel serán aquellas de menor valor económico, pero con pocas impurezas.

Los aceites residuales descartados de industrias de alimentos o para freír en restaurantes y en viviendas, también constituyen materias primas de bajo costo de adquisición.

Los aceites descartados y las grasas animales de bajo costo presentan dificultades para su aplicación en la fabricación de biodiesel, asociadas a la logística de recolección y transporte desde los puntos de su producción descentralizada hasta la planta de biodiesel. Además, la gran variación de las propiedades y características de estas materias primas crean dificultades para el control de calidad del biodiesel producido y, en general, requieren de un procesamiento preliminar para reducir la acidez y presencia de sales que pueden perjudicar el proceso de producción del biodiesel.

e) Los co-productos y subproductos de la producción de biodiesel

Los principales co-productos de producción del biodiesel son la glicerina y el alcohol en exceso. Cuando se describió el proceso de producción del biodiesel, se hizo notar que es muy importante tratar de forma adecuada estos subproductos y definir cuales son los procesos a adoptar.

El aprovechamiento del alcohol en exceso y recuperado es fundamental ya que se recomiendan desde 50% (metanol) hasta 300% (etanol) de exceso de alcohol en la reacción de transesterificación. La recuperación y deshidratación del alcohol permite su reutilización en la reacción, disminuyendo la necesidad de alcohol nuevo para reposición de las cantidades efectivamente usadas en la reacción y eventuales pérdidas. Para cada 1.000 l de biodiesel producido se tienen alrededor de 50 kg (para metanol) o 400 kg (para etanol) de alcohol en exceso.

La producción de glicerina ya sea bruta (alrededor de 65% glicerina) o destilada (arriba de 95%) también es muy importante por varias razones: no se puede descartar esta fase por motivos ambientales y los precios de la glicerina ayudan a viabilizar económicamente el proyecto. La cantidad de glicerina producida es de alrededor de 100 kg por cada 1.000 l de biodiesel. Las principales impurezas presentes en la glicerina bruta producida en la transesterificación son agua, catalizador, trazos de ésteres, y propanodiol.

El mercado de glicerina es sensible a la penetración del biodiesel en grandes cantidades. En los Estados Unidos los precios de la glicerina en el 2003 estaban alrededor de 1.000 US\$/ton y en junio de 2006 estaban entre 620 y 860 US\$/ton (grado farmacéutico: 1.300 US\$/ton, pureza > 99,5%). Existe el temor de que los precios de la glicerina sean muy presionados por su oferta en volúmenes que el mercado farmacéutico o de cosméticos no soporta. En la Unión Europea, donde la producción de biodiesel es alta, los precios de la glicerina ya son más bajos que en Estados Unidos: entre 550 a 620 US\$ / ton. Por otro lado, con la caída de los precios de la glicerina, las posibilidades de su empleo en otras aplicaciones hasta ahora no atractivas se pueden materializar, movimiento que puede evitar depreciación elevada de los precios en el mercado de la química de la glicerina. Los subproductos del procesamiento de la glicerina deben ser tratados de forma conveniente.

De ser posible, cuando los aceites vegetales sufren tratamientos antes del proceso de transesterificación, los sub-productos asociados deben ser tratados para obtener varios productos de gran valor agregado. Por ejemplo, si el aceite sufre el proceso de desgomagen, el subproducto (gomas) puede originar lecitina comercial o pura (especialmente en el caso de la soya), así como fosfatídeos de gran valor (colina). Las borras (sedimentos espesos y aglutinados) del proceso de neutralización de aceites ácidos pueden ser empleadas para la fabricación de jabones. Los constituyentes insaponificables (3% de la borra), en general, son constituidos por esteroides de amplio uso farmacéutico. En caso de desodorización del aceite, los sub-productos contienen esteroides y tocofenoles (pró-vitamina E).

f) La ruta metílica o etílica

El proceso de producción de biodiesel necesita de un alcohol para la reacción. En principio, los alcoholes más adecuados por su costo y disponibilidad son el metanol y el etanol. Por varias razones que serán expuestas a continuación, el metanol sigue siendo el alcohol más empleado en la transesterificación.

Las rutas metílica y etílica pueden ser comparadas por diferentes criterios: adecuación técnica al proceso de reacción, adecuación económica y adecuación ambiental. Para países que producen etanol de biomasa con eficiencia, la ruta etílica es la que ofrece mayores beneficios ambientales: todas las materias primas serían renovables (aceites y bioetanol). Por otro lado, la producción de metanol es proveniente de procesamiento de petróleo o gas natural, por lo que su origen se convierte en un punto negativo.

Desde el punto de vista técnico de la reacción, el metanol presenta ventajas: requiere menor cantidad de alcohol en exceso que aquella requerida por el etanol, posee mayor eficiencia de conversión de aceites, requiere menores temperaturas de reacción y posee menor tiempo de reacción, como se presenta en el cuadro 14.

Con etanol, la formación del catalizador (etanoato) es reducida porque los enlaces en el etanol son más fuertes que en el metanol lo que conduce a velocidades de reacción menores (Ferrari y otros, 2005). Por otro lado, no se puede usar exceso de catalizador porque esto conduce a la formación de jabones y reduce la producción de biodiesel. Para uso de etanol, la potasa (KOH) es más soluble que la soda (NaOH).

Cuadro 14

BIODIESEL: ¿ETANOL O METANOL?

Propiedad	Ester metílico	Ester etílico
Conversión aceite -> biodiesel	97,5%	94,3%
Glicerina total en el biodiesel	0,87%	1,40%
Viscosidad a 40 C	3,9 a 5,6 cSt	4,2 a 6,0 cSt
Tiempo de reacción	Menor	mayor
Δ potencia (relación al diesel)	2,5% menor	4% menor
Δ consumo (relación a diesel)	10% mayor	12% mayor

Fuente: Schuchardt y otros, 1998.

La tecnología de producción en gran escala de biodiesel con etanol aún debe ser desarrollada. A pesar que los precios del metanol de origen fósil son menores que los precios del etanol, la gran ventaja de éste es su origen renovable, que contribuirá a la valorización del biodiesel obtenido con etanol (menores emisiones de gases de efecto invernadero).

El uso de metanol conduce a los ésteres metílicos y el uso de etanol a los etílicos. Al igual que cuando provienen de una misma materia prima, existen algunas diferencias de propiedades entre ellos, se indica en el cuadro 15. Se pueden producir ésteres de ácidos grasos con uso de otros alcoholes, como el propanol o el i-butanol, pero las diferencias de propiedades no justifican los precios muchos más elevados de los alcoholes superiores (arriba de dos átomos de carbón). Los ésteres etílicos en general poseen mayor número de cetano y mayor calor de combustión, lo cual es positivo, aunque también tendrán mayor viscosidad.

Cuadro 15

DIFERENCIAS ENTRE EL BIODIESEL METÍLICO Y ETÍLICO

	Calor de combustión	Número de cetano	Densidad	Viscosidad
	MJ/kg		Kg/m ³	cSt
Soya – metílico	39,8	47,2	0,885	4,1
Soya – etílico	40,0	48,3	0,881	4,4
Colza – metílico	40,1	54	0,883	6,0
Colza – etílico	41,4	56	0,876	6,2
Ganado – metílico	39,4	68	0,876	4,1
Ganado – etílico	40,6	70	0,871	4,8

Fuente: Van Gerpen, 2006, NREL 2001.

Como se puede constatar, el principal problema que limita el empleo del bioetanol para producción de biodiesel es de naturaleza técnica. Desde el punto de vista de sostenibilidad, ésta sería la mejor opción. En Brasil, los productores de bioetanol preferirían que el bioetanol fuera empleado para producción de biodiesel. Alrededor de 130 litros de bioetanol son empleados para producir 1.000 litros de biodiesel. La demanda de bioetanol, por lo tanto, es de alrededor del 13% del volumen de bioediesel a ser producido.

5. La calidad del biodiesel y sus efectos en el motor

Las experiencias realizadas por varios grupos de investigación en muchos países indicaron que los ésteres de aceites vegetales son combustibles renovables adecuados para la sustitución del diesel. Por otro lado, varios experimentos demostraron que la calidad del biodiesel es muy importante para que el motor no sufra problemas en la operación y en su durabilidad.

Los puntos críticos para un proceso de obtención de biodiesel de alta calidad para uso en los motores diesel son:

- Garantizar la reacción completa hasta el éster mono-alquilado.

- Hacer buena remoción de la glicerina libre.
- Remover el catalizador residual de la fase de biodiesel.
- Remover el alcohol de la fase de biodiesel.
- Garantizar la ausencia de ácidos grasos libres en el biodiesel.

Por otro lado, algunas características técnicas del biodiesel son siempre mejores que las del diesel de petróleo común:

- Número de cetano más elevado.
- Naturalmente oxigenado – reducciones de emisiones de CO, HC y humos.
- Cantidad de azufre baja, pero no se puede olvidar que ya existen aceites diesel de muy baja cantidad de azufre (< 15 ppm) y, en estos casos, la cantidad de azufre del biodiesel puede ser importante.
- Cantidad de hidrocarburos (o derivados) aromáticos es muy baja frente al diesel; menor tendencia a formación de partículas en la combustión.
- Mayor lubricidad que el diesel, que le hace un aditivo natural para aceites diesel de muy baja cantidad de azufre, que no tienen buena lubricidad.

Las especificaciones técnicas del biodiesel, ya presentadas anteriormente, tienen el objeto de garantizar las buenas condiciones de la calidad del biodiesel producido, de igual forma es importante que los motores sean ensayados para verificar si no existe algún problema que no haya sido previsto, lo cual es muy común por tratarse de un producto nuevo y con procesos de producción muy diversos y tecnologías aún en desarrollo.

Como se analizó al inicio de este capítulo, la buena combustión en un motor diesel está directamente ligada a la distribución estadística del tamaño de las gotas de combustible inyectadas, al formato del chorro y a la calidad intrínseca del combustible (en especial el número de cetano). Así, es importante que las diferencias de viscosidad, densidad, tensión superficial, volatilidad y módulo de elasticidad entre el biodiesel y el diesel de petróleo sean probadas en el motor para que el efecto de la forma del chorro, tamaño promedio de gotas y atraso de ignición (*ignition delay*) no influyeran de modo negativo la combustión y el consumidor no tenga perjuicios.

En general, estas son las cuestiones que los fabricantes de vehículos ponen para mantener la garantía de fábrica para mezclas diesel / biodiesel con grandes cantidades de biodiesel (B20 a B100). Para cantidades pequeñas de biodiesel (B2 hasta B5), no se prevén mayores problemas al motor. De esta forma, un mismo fabricante puede aprobar el uso de B100 para un dado modelo y apenas B20 ó B5 para otro. En general, en Europa los fabricantes aprobaron el biodiesel particular, el metil éster de colza, y proporcionan garantía apenas para este biodiesel, porque ya lo probaron. Otro biodiesel hecho de otras materias primas puede no ser aprobado por el fabricante antes que se hayan realizado las pruebas y el biodiesel no presente problemas.

Como los mayores problemas ocurren por causa de la inyección, los fabricantes de sistemas de inyección son los que tienen mayor cautela en aprobar el uso de biodiesel. Uno de los mayores fabricantes de sistemas de inyección (Bosch, 2006) mostró sus mayores preocupaciones con relación a la calidad de biodiesel, que se reproduce en el cuadro 16, junto a resultados de otros investigadores.

Cuadro 16

LAS CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL Y PROBLEMAS EN LOS MOTORES

Característica	Sistema de inyección	Motor y desempeño
Glicerina libre	Corrosión, sedimentos, formación de barnices	Pérdida de potencia, aumento de humos, sin arranque
Álcalis (Na, K, Ca, Mg)	Sedimentos; falla de la pompa y del inyector	Pérdida de potencia, aumento de humos, sin arranque, falla total del motor
Clima frío (viscosidad) Polímeros insolubles (gomas, borras) ^a de oxidación	Durabilidad del sistema de inyección, atomización precaria Obstrucción de filtros, depósitos en el sistema, desgaste de componentes, <i>coking</i> del inyector	Sin arranque, parada total del motor Pérdida de potencia, aumento de emisión de humos, sin arranque, parada total del motor
Polímeros solubles (oxidación)	Formación de resinas	Parada total del motor; sin arranque
Ácidos grasos libres (oxidación)	Corrosión de metales; formación de jabones con metales	Pérdida de potencia, aumento de emisión de humos, parada total del motor, sin arranque
Peróxidos (oxidación)	Fragilización de elastómeros	Vertimiento de combustible, pérdida de potencia
Metanol libre	Corrosión de aluminio y zinc.	Pérdida de potencia, bajo flash point (inflamabilidad)
Agua en el biodiesel	Reversión de ésteres a ácidos grasos; formación de jabones; obstrucción de filtros	Pérdida de potencia, sin arranque, parada total del motor

Fuente: Bosch, 2006, Nigro, 2001

a/ Sedimento espeso aglutinado, material con consistencia gelatinosa.

La compatibilidad entre el biodiesel y los materiales empleados en el sistema de combustible es otro punto de preocupación. El biodiesel puede causar daño a algunos materiales, así como algunos materiales pueden causar daño al biodiesel y afectar sus propiedades. El biodiesel no debe estar en contacto con cobre y sus aleaciones, zinc, plomo y latón. Para almacenamiento del biodiesel se recomienda el uso de aluminio, acero y acero inoxidable. Las tuberías no pueden ser galvanizadas.

El cuadro 17 presenta la compatibilidad de algunos elastómeros con el biodiesel, y debe ser tomada como indicativa. El efecto del biodiesel sobre el polivinil mostró que si el biodiesel está mezclado con diesel en bajo porcentaje, los efectos son muy menores y no se prevén problemas con este material en tiempos razonables. Otros materiales presentan comportamientos similares. Cuando se pretende usar biodiesel puro o con porcentaje alto en mezcla con diesel, entonces los efectos del biodiesel sobre los elastómeros deben ser tomados en cuenta.

Cuadro 17

COMPATIBILIDAD ENTRE BIODIESEL Y ELASTÓMEROS

Material	BXX	Comparación con diesel de petróleo
Teflón	B100	Poca alteración
Nylon 6/6	B100	Poca alteración
Nitrile	B100	Mucho peor, todas propiedades
Viton A401-C	B100	Poca alteración
Viton GFLT	B100	Poca alteración
Fluorosilicón	B100	Entumecimiento
Poliuretano	B100	Entumecimiento
Polipropileno	B100	Entumecimiento
Polivinil	B100	Mucho peor
	B50	Peor
	B30	Peor
	B20	Poca alteración
	B10	Comparable
Tygon	B100	Peor, todas las propiedades

Fuente: NREL, 2001.

6. Otras tecnologías para modificar aceites vegetales

Desde que quedó claro que el empleo de aceites vegetales puros en motores no era posible sin que los motores fuesen modificados a fondo, varios procesos de modificación de los aceites vegetales fueron propuestos. Sin duda, el proceso más conocido y que tiene mayor éxito técnico y económico es la transesterificación; su producto, el biodiesel (alquil ésteres de ácidos grasos), ya fue analizado en detalles en este capítulo.

Para modificar los aceites vegetales y grasas animales y generar biocombustibles que puedan ser empleados en motores diesel, existen dos alternativas técnicas más: la pirolisis o *cracking* térmico del aceite y el hidro-tratamiento en refinerías, con el diesel de petróleo.

a) El *cracking* (pirolisis) de aceites y gorduras

De forma general, la pirolisis o *cracking* térmico es un proceso de conversión química causada por aplicación de energía térmica. El *cracking* térmico o pirolisis de aceites o grasas es la quiebra de las moléculas de triglicéridos por efecto térmico sin la presencia de oxígeno. En general, para facilitar el proceso y aumentar la productividad de las fracciones deseadas, se adopta algún catalizador como el óxido de silicio (SiO_2) o alumina (Al_2O_3). La temperatura de operación queda entre 300° y 500 °C dependiendo de las materias primas. El proceso debe ser conducido a presiones moderadas. Los productos de la pirolisis deben entonces ser separados por un rango de temperatura de ebullición (fraccionamiento). En la descomposición térmica se forman parafinas y olefinas, cíclicas y lineares, así como productos oxigenados (aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos).

En la Universidade Federal do Ceará (Brasil), experimentos con la pirolisis de aceites en los años ochenta, produjeron los siguientes resultados: para 1.000 litros de aceite, se obtuvieron 600 litros de productos similares al diesel, 200 litros de similares de gasolina, 150 litros de productos leves y gaseosos, y alrededor de 50 kg de pesados.

Estudios recientes en la Universidade de Brasilia con la pirolisis de aceites y grasas condujeron a productos aceptables para sustituir el diesel. Los resultados están mostrados en los cuadros 18 y 19. El cuadro 18 indica los rendimientos en cada rango de destilación mientras que el cuadro 19 presenta algunas propiedades comparadas entre el producto obtenido en la pirolisis y el diesel.

Cuadro 18

RENDIMIENTOS DE PIROLISIS DE ACEITES VEGETALES Y GRASA DE GANADO

Materia prima	Temperatura Pirolisis °C	Rendimiento de la destilación (% masa)			
		< 90 °C	90-140 °C	140-200 °C	> 200 °C
Aceite soya	350 – 400	10	15	15	60
Borra ^a de soya	350 – 400	2	13	27	58
Aceite de palma	330 – 380	7	9	9	75
Aceite de higüerillo	350 – 400	10	10	20	60
Gordura de ganado	350 – 400	4	27	13	46

Fuente: Lima, 2004.

a/ Sedimento espeso aglutinado, material con consistencia gelatinosa.

Cuadro 19

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES: DIESEL Y PRODUCTOS DE PIROLISIS

Característica	Productos de pirolisis materia prima:			Especificaciones para diesel	
	Soya	Palma	Higüerillo		
Aspecto	LII	LII	LII	Limpio y exento de impurezas	
Color ASTM, máx.	2,0	-	-	3,0	
Azufre total (% masa, máx.)	0,007	0,010	0,013	0,20 (2000ppm)	
Destilación (°C)	Pto. Inicial	90,6	63,5	97,5	-
	50% recuperado	265,9	245,2	248,9	245,0 a 310,0
	85% recup., máx.	307,5	254,3	267,6	370,0
	Punto final	344,9	-	297,0	-
Masa específica a 20°C Kg/m ³	844	818,4	882,3	820 a 880	
Viscosidad a 40°C, cSt(mm ² /s)	3,5	2,7	3,7	2,5 a 5,5	
Índice de Cetano	50,1	52,7	30,9	45	

Fuente: Soares y otros, 2004.

Se realizaron muchos estudios con la pirolisis de triglicéridos para obtener productos adecuados a los motores diesel (Grossley y otros, 1962, Billaud, 1995). El producto de la pirolisis del aceite de soya presenta baja viscosidad y alto número de cetano cuando se le compara con el aceite crudo, con valores compatibles con el diesel. Los niveles de cenizas y residuos de carbón necesitan ser evaluados.

Dos comentarios finales e importantes: en primer lugar, la cantidad de biocombustible de la pirolisis especificada como diesel es menor que la cantidad de aceite (50% a 75%). En segundo lugar, a pesar de que el producto de la pirolisis es químicamente similar al diesel de petróleo, la remoción del oxígeno durante el proceso de pirolisis elimina los beneficios ambientales de reducción de emisiones de efecto local (monóxido de carbón, hidrocarburos no quemados, humos, partículas).

b) Hidro-tratamiento de aceites crudos y diesel

Este proceso consiste en adicionar aceite vegetal crudo al diesel que sufrirá el proceso de hidro-tratamiento (HDT) en la refinería de petróleo. Con esto, se incrementa la producción de diesel de bajas concentraciones de azufre. Los detalles de este proceso aún son protegidos en secreto industrial, pero, a grosso modo, los triglicéridos sufren reacción con el hidrógeno produciendo hidrocarburos, propano y agua. El proceso también es interesante por aumentar el número de cetano del diesel tratado en comparación con el tratamiento de diesel sin aceite vegetal.

La Petrobrás (Brasil) creó este proceso en una refinería de petróleo y lo llamó H-Bio, y probaron hasta 20% de aceite de soya en mezcla con el diesel a ser tratado. La Neste Oil de Finlandia creó un proceso similar y lo llamó NExBTL. La primera planta debe entrar en producción en el 2007, la segunda en 2008 y existen proyectos entre la Neste y la Total (Francia) y la OMV (Austria).

Los puntos positivos resaltados para este proceso son:

- La calidad y procedencia de la materia prima posee poca influencia en el proceso.
- No existen residuos a descartar. Los sub-productos van a otros procesos de la refinería.
- El diesel producido es de mejor calidad (Premium).
- No requiere pruebas en motores para su empleo.
- El manejo y almacenamiento son aquellos del diesel común
- La producción de aceites vegetales ayuda a crear empleos en el campo.

A pesar de los aspectos positivos, este proceso, así como la pirolisis, elimina el oxígeno de las moléculas y reduce los efectos positivos de reducción de emisiones de efecto local (monóxido de carbón, hidrocarburos no quemados, humos, partículas) con relación al biodiesel.

II. EXPERIENCIA INTERNACIONAL CON BIODIESEL

El empleo de biodiesel ha estado creciendo en todo el mundo, como se puede ver en el cuadro 20, adaptado del trabajo de Steenblik (2006) para la OCDE y del EBB (2006). Este crecimiento ocurre de forma diferente en cada país debido a las condiciones económicas locales, las definiciones de políticas públicas, las decisiones acerca de impuestos y tasas, la disponibilidad de tierras y otros factores pueden crear sinergias de diversas intensidades.

Cuadro 20

ESTIMACIONES DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE BIODIESEL (En miles toneladas)

País	2002	2003	2004	2005	2006 ^a
Canadá	1	3	3	43	76
Estados Unidos	50	67	83	250	336
Austria	25	32	57	85	
Rep. Checa	--	--	60	133	
Dinamarca	10	41	70	71	
Francia	366	357	348	492	
Alemania	450	715	1 035	1 669	
Italia	210	273	320	396	
Eslovaquia	--	--	15	78	
España	--	6	13	73	
Suecia	1	1	1	1	
Reino Unido	3	9	9	51	
Polonia	--	--	--	100	
Australia	27	27	29	36	187
Japón	2	2	3	3	3
Brasil	--	--	-	0,7	60,3
China	--	20	45	64	150
India	--	--	--	--	8
Malasia	--	--	--	--	135
Filipinas	--	--	29	29	58
Tailandia	--	--	--	79	100
Otros	--	20	80	348	689
Total	1 153	1 663	2 133	2 880	4 250

Fuente: Steenblik, 2006; EBB, 2006; ANP 2007.

a/ Proyectado; -- cero o despreciable

Entre los países más desarrollados y signatarios del Protocolo de Kyoto, la cuestión ambiental es el factor determinante para el empleo de los biocombustibles en general y del biodiesel como parte de ellos. Países que poseen gran capacidad de producción de oleaginosas también están efectuando esfuerzos para empezar la producción de biodiesel.

1. La Unión Europea

El biodiesel ocupa mayor importancia entre los biocombustibles en la Unión Europea, con un *market share* de alrededor del 80% comparado al bioetanol con alrededor del 20% (Von Lampe, 2006). Para el biodiesel, Alemania, Francia e Italia son los mayores productores; para el bioetanol, sobresalen España, Francia, Polonia y Suecia. La Unión Europea lidera el mundo en el desarrollo del biodiesel. Para entender porqué ocurrió esto, es necesario recordar que la Unión Europea está comprometida con el Protocolo de Kyoto, y que algunas políticas agrícolas e energéticas también contribuyeron de forma relevante.

El inicio de la producción de biodiesel en gran escala en Europa viene del año 1993. En 1992, la política agrícola común de la Unión Europea estableció que los agricultores estaban obligados a dejar sin uso parte de sus tierras arables una parte del año sin producir en ellas ni alimentos ni cosechas para fines de forraje (programa *set-aside* de la Common Agricultural Policy). Esta política visualizaba mantener los precios de las cosechas agrícolas y, subsidiariamente conservar el suelo. En estas tierras los agricultores podrían cultivar la soya, el girasol o la colza para fines industriales (óleo química, fluido hidráulico o biodiesel). De esta forma, la producción de aceites vegetales en las tierras del *set-aside* como materias primas para biodiesel se tornó en una buena opción frente al mantenimiento de la tierra sin ningún rendimiento, con lo cual la industria del biodiesel creció rápidamente en los años siguientes.

En la Directiva 2003/30/EC del Parlamento Europeo se estableció una directriz para promover el uso de biocombustibles u otros combustibles renovables para fines de transporte. La meta establecida para los países de la Unión Europea indicaba que el 2% de todo el combustible usado en transportes debería ser de origen renovable en 2005. Para 2010, la meta es de 5,75%. Los Estados miembros de la UE tienen flexibilidad para conducir sus políticas energéticas para atender esta meta y deben reportar en el primero de julio de cada año la situación en que se encuentra la estrategia de implementación de sus medidas concretas. De las 25 naciones de la UE, sólo 15 lograron éxito para la meta de 2005 y existen considerables diferencias entre las estrategias que están en implementación. La Comisión puede proponer al Parlamento que las metas indicativas se vuelvan obligatorias, si los estados miembros no presentan razones aceptables para no cumplir las metas.

Una segunda Directiva del Consejo de la UE (Directive 2003/96/EC) establece las estructuras de tasas para productos energéticos y para la electricidad. Los estados miembros que lo deseen pueden volver a los biocombustibles exentos de las tasas aplicadas a los hidrocarburos. Esta diferenciación tributaria entre biocombustibles e hidrocarburos fue empleada en algunos países con el objeto de impactar positivamente la penetración de los biocombustibles.

En 2005, varios países de la UE25 empezaron a producir biodiesel, no sólo Polonia, que ya está listada en el cuadro 20, sino en Eslovenia, Estonia, Lituania, Letonia, Grecia, Malta, Bélgica, Chipre y Portugal. Actualmente, 20 de las 25 naciones de la EU producen biodiesel.

a) Alemania

Alemania es hoy el mayor productor de biodiesel del mundo con gran ventaja sobre los demás países, como se indica en el cuadro 20. En Alemania, el Acto de Impuestos sobre Óleos

Minerales fue enmendado en enero de 2004 y garantizó hasta el 2009 la exención total de impuestos y tasas a los biocombustibles para transporte y aceites de calentamiento producidos por biomasa, usados puros o en mezcla con combustibles fósiles. No existían límites cuantitativos para la producción de los biocombustibles. Al principio del año 2005 existían 23 plantas productoras de biodiesel y varios proyectos en construcción (IWR, 2007).

El biodiesel estaba ya exento de tasas desde los años noventa, pero los demás biocombustibles no. Como resultado inmediato de esta política en el 2005 fueron construidas tres plantas de producción de bioetanol.

El cuadro 21 muestra cómo creció la producción y el consumo de biodiesel. En Alemania, se montó una estructura de distribución de biodiesel distinta a todos los demás países: el biodiesel está disponible como B100, es decir puro, en más de 1.500 estaciones de servicio del país. Los consumidores hacen la mezcla que desean con el diesel de petróleo. Como el precio de biodiesel en las estaciones de servicio es más bajo que el del diesel de petróleo, hay gran incentivo a su uso. En el siguiente capítulo se analizará el costo del biodiesel, pero por el momento basta decir que, sin los impuestos o tasas, el precio al consumidor resulta siempre menor que el diesel.

Cuadro 21

CAPACIDAD PRODUCTIVA Y CONSUMO DE BIODIESEL EN ALEMANIA
(Miles de toneladas)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Capacidad de producción	200	460	730	1 100	1 100	2 300
Consumo ^a	340	450	550	800	1 200	1 800

Fuente: UFOP-Union für Förderung von Oel-und Proteinpflanzen, 2006.

a/ Los valores de consumo son un poco diferentes de los indicados por EBB, 2006, (véase el cuadro 20).

En la última sesión del German Bundestag (Parlamento) en 2005 fue aprobada una Ley llamada “Energy Tax Act”, para adecuación al “E.U. Biomass Action Plan” del Parlamento Europeo, también de 2005. En síntesis, las dos leyes se ocupan de la sobre-compensación al biodiesel (y otros biocombustibles) causada por la exención total de tasas frente a los elevados precios del petróleo y sus derivados en ese año.

Entonces, el “Energy Tax Act” aprobó una reducción gradual de los beneficios fiscales para el biodiesel y para los aceites vegetales. En adición, fueron establecidas cuotas para los productores de biodiesel y para los productores y distribuidores de derivados de petróleo: 5% de biodiesel frente al volumen total de diesel y 3% de biocombustibles para la gasolina para el 2006. Para los biocombustibles como un todo, la meta de 5,7% en 2009 y 6% en 2010 (frente a la suma de consumo de diesel y gasolina). Las sanciones en caso de no conformidad (basadas en el contenido energético) son de 16 Euros por GJ para diesel-biodiesel (0,5 Euros por litro), y 28 Euros por GJ para gasolina-bioetanol (0,8 Euros por litro).

Las condiciones necesarias para los privilegios de tasas y de elegibilidad para la obligación de cuotas son que cada biocombustible obedezca las especificaciones técnicas en vigor (EN 14214 para biodiesel, DIN V 5 1606 para aceites vegetales puros y 99% min. de alcohol para el bioetanol).

Las tasas vigentes están en el cuadro 22 hasta el año 2012.

Cuadro 22

LAS NUEVAS TASAS PARA EL BIODIESEL Y ACEITES VEGETALES COMBUSTIBLES

Año	Tasas para biodiesel Euros por litro	Tasas para aceites vegetales Euros por litro
2006 y 2007	0,09	0
2008	0,15	0,10
2009	0,21	0,18
2010	0,27	0,26
2011	0,33	0,33
2012 en adelante	0,45	0,45

Fuente: UFOP, 2006.

Es importante mencionar que en un país donde las cuestiones de la calidad de los productos y de la defensa de los consumidores son avanzadas, hubo problemas. En algunos casos, la calidad del biodiesel B100 no fue adecuada a algunos tipos de vehículos que presentaron problemas de durabilidad. Esto resultó en una reacción de los fabricantes de vehículos que eliminaron la garantía de algunos modelos para el B100. Hoy, existen inventarios públicos de marcas y modelos con garantía asegurada para el uso de hasta B20 ó B100 (por ejemplo, IFEU, 2005). Los consumidores no deben usar contenidos de biodiesel mayores a aquellos indicados en el manual del vehículo para mantener la garantía del fabricante.

b) Francia

En Francia, los beneficios fiscales no se extienden a toda la producción de biodiesel por que el gobierno establece anualmente la cantidad máxima de producto a ser comercializado con exención de tasas. Los valores de exención también son fijados cada año. Por ejemplo, desde el 2000 hasta el 2003, el volumen aprobado de biodiesel fue de 400.000 toneladas y tenía una exención de EUR 0,35/litro y el bioetanol EUR 0,37/litro, con valor global fijado alrededor de EUR 180 millones para los dos biocombustibles. En el 2004 el volumen aprobado para el biodiesel fue de 800.000 toneladas.

La producción de biodiesel en Francia ocurre en cuatro grandes instalaciones, que centralizan la producción de aceite de colza basadas en cooperativas agrícolas y una asociación de productores: Grand Couronne (260.000 t/año), Compiègne (100.000 t/año), Sète (200.000 t/año) y Boussens (40.000 t/año). La capacidad total en julio de 2006 era de 600.000 t/año; pero a finales de 2008 se prevé triplicar esta capacidad total hasta 1.800.000 t/año. En el sitio de la asociación de productores se indica dónde se situarán las próximas plantas y el año en que empezarán a operar.

En el 2005 fue creada una nueva tasa sobre actividades que producen contaminación ambiental, pero los distribuidores de hidrocarburos que usen biocombustibles en sus mezclas pueden deducir esta tasa de acuerdo con una fórmula progresiva que depende del volumen de biocombustibles comercializados. Esto es un incentivo más para la distribución de mezclas de hidrocarburos con biocombustibles.

El 2005 un Decreto introdujo un sistema de tasas, llamado “bonus-malus”, un incentivo de 0,33 Euro por litro para el biodiesel y de 0,37 Euro por litro para el bioetanol, pero combinados con una penalidad para empresas que no comercialicen la cantidad mínima de biocombustibles (0,60 Euro por litro no comercializado). El aceite vegetal crudo utilizado como combustible está completamente exento de tasas.

Las cuotas por año fueron definidas en dos fases: 2005-2009 y 2008-2013. Para la primera fase (2005-2009) las cuotas por año son:

- Biodiesel: 599.000 toneladas (fase 1) y 700.000 toneladas (fase 2)
- ETBE: 40.000 toneladas (fase 1)
- Bioetanol: 275.000 toneladas (fase 1) y 250.000 toneladas (fase 2)

En particular, para el año 2006 se definieron 677.000 toneladas de biodiesel y 307.000 toneladas de bioetanol (incluyendo el empleado para producir el ETBE).

La distribución del biodiesel en Francia se hace en mezclas de 5% con el diesel de petróleo, como está determinado en el reglamento (*Arrête du 23 Décembre 1999 modifié*). Para vehículos de flotas que poseen almacenamiento propio y bajo contrato con el distribuidor o productor, se puede emplear hasta el 30%. Caso contrario a Alemania, no es decisión de los consumidores la definición de la mezcla a usar. Como dato curioso, Francia emplea el nombre de “Diester”, patentado, para el biodiesel.

c) Italia

La producción de biodiesel en 2005 fue de 396.000 toneladas distribuidas en nueve plantas productoras para una capacidad instalada de producir hasta 827.000 toneladas. El gobierno delimita cada año la cantidad de biodiesel que puede beneficiarse de exenciones completas de tasas. Para los años 2002 a 2004 el límite fue establecido en 300.000 toneladas; para el 2006 la cuota fue reducida a 200.000 toneladas.

Los privilegios de tasas inciden solamente hasta las cantidades máximas definidas para cada año. Para el bioetanol, existe una reducción de tasas de 0,28 Euro por litro (tasa de la gasolina: 0,54 Euro por litro). El ETBE también tiene una reducción similar al etanol, de 0,28673 Euros por litro. Para bioetanol y ETBE no existen cuotas sino un valor máximo anual de pérdida de recaudación determinada por los incentivos. En 2006 este límite fue de EUR 11.911.000.

En Italia, el biodiesel se comercializa como B7, es decir, 7% de biodiesel en mezcla con diesel de petróleo.

d) Austria

En Austria existe una exención de tasas para biocombustibles puros y reducciones de tasas para mezclas con al menos 4,4% de biocombustibles. Frente a los precios internacionales del petróleo, en octubre de 2005 el país redujo las tasas de diesel de petróleo de 0,325 a 0,297 Euros por litro. La reducción para gasolina, de 0,445 a 0,412 Euros por litro deberá ocurrir en octubre de 2007 para mezclas con 4,4% de bioetanol. En octubre de 2005 también se creó la “obligatoriedad de sustitución” de 2,5% de biocombustibles con relación al total de derivados de petróleo que cada empresa comercializó. En octubre de 2007 el porcentaje será de 4,3% y en 2008 de 5,75%. El monitoreo de los índices de sustitución estará a cargo del Ministerio del Ambiente.

e) España

En España, la mezcla de biodiesel con diesel es fijada en 5% (B5). La producción de biodiesel ganó importancia a partir 2004 y especialmente en el 2005. Para introducir los objetivos de la Directiva 2003/30/EC, el gobierno de España aprobó el “Plan de Energías Renovables (PER) para el período de 2005–2015. Las metas son de 7% de biocombustibles en 2010 y de 10% en 2015. El programa para energía renovable aprobado por el gobierno establece una meta de 2,2 millones de tep en energías renovables hasta el 2010 que se puede comparar con el valor de 0,2 millones de tep en 2004.

El país ya es el líder en la producción de bioetanol en la UE. El gobierno concede exenciones completas de tasas para los biocombustibles puros y proporcionalmente para las mezclas.

f) Suecia

El país posee una política de incentivos a los biocombustibles. En Estocolmo, los autobuses usan bioetanol por motivos ambientales. El gobierno concede exenciones de tasas a todos los biocombustibles y su meta alcanzó el 3% de biocombustibles en 2005.

Para el biodiesel, todavía existen restricciones técnicas por parte de los mayores fabricantes de vehículos diesel (Volvo y Scania) para uso de biodiesel en cantidades superiores a 5% (B5). La mayor barrera es el propio clima frío, que causa dificultades técnicas para el biodiesel (punto de enturbamiento). El biodiesel producido con aceites vegetales usados sólo puede ser empleado en el verano, de otra forma requerirían aditivos de alto costo.

g) Polonia

El gobierno aprobó en el 2004 una Ley de Biocombustibles con exenciones parciales de tasas para la producción de bioetanol para mezclar en la gasolina y para la producción de biodiesel para mezclar en el diesel. La reducción de las tasas depende del porcentaje de la mezcla y es definida cada año. En el caso del biodiesel, su producción comenzó de cero en 2004 para aumentar sorpresivamente a 100.000 toneladas en 2005.

h) Otros países de la Unión Europea

Otros países de la Unión Europea tienen programas de apoyo a los biocombustibles con diversos grados de penetración. Bélgica, Reino Unido, República Checa y Eslovaquia, Irlanda, Eslovenia y Portugal poseen algún tipo de beneficio fiscal en curso. Otros países, como Chipre, Luxemburgo, Malta y Holanda no poseen ningún beneficio fiscal para biocombustibles.

Dos países tienen posiciones muy particulares, Dinamarca y Finlandia. Dinamarca considera que los costos del apoyo a los combustibles renovables son muy altos frente a sus beneficios con relación a la cantidad de emisiones de CO₂ reducidas y por lo tanto, no se prevé ninguna acción fiscal futura para la promoción de los biocombustibles. Finlandia no aplica beneficios fiscales para los biocombustibles pues considera que su clima y suelo no permitirían producción de biodiesel o bioetanol en gran escala. El país todavía emplea mucha biomasa para fines de calentamiento, provenientes del manejo de bosques y ya tiene un buen desempeño ambiental (pero no en el sector de transporte).

2. El biodiesel en Estados Unidos, Canadá, Australia y Japón

a) Estados Unidos

En los Estados Unidos el empleo de biocombustibles está centrado en el bioetanol producido de maíz que es adoptado en mezclas con gasolina. El bioetanol reemplaza el uso de MTBE como aditivo para oxigenar la gasolina. Existen incentivos fiscales federales para el etanol así como incentivos en estados productores de maíz desde el año 1978 (Energy Tax Act) que todavía cambian de valor a través de los años.

Para el biodiesel, en el 2004 se creó un crédito de US\$ 1,00 por galón (B100), si es producido de aceites vírgenes y de US\$ 0,50 si es producido de aceites de cocina reciclados. Las mezclas B20 ó B5 obtienen créditos proporcionales. El crédito es efectuado para los mezcladores (en general distribuidores mayoristas) que deben pasar parte del beneficio a los consumidores, reduciendo los precios a los usuarios. Otra parte de los créditos deberán ser empleados en inversiones en la infraestructura de distribución.

El Departamento de Agricultura (USDA) creó el Programa “Commodity Credit Corporation” que hace pagos a los productores de biocombustibles (alcohol y biodiesel) que hayan incrementado su producción. Por cada 2,5 de unidades excedentes con relación al año anterior, se paga 1 unidad (productores hasta 65 millones de galones); para productores arriba de 65 millones de galones por año, la proporción es de 3,5 para 1. El monto total para cada año fiscal es de alrededor de US\$ 180 millones.

Existe también una variedad de incentivos por parte de los estados productores de soya, el aceite virgen más usado para producir biodiesel, cuya producción se muestra en el cuadro 23. Es evidente el incentivo producido por el crédito tributario y otros beneficios introducidos a partir de 2004.

Cuadro 23

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN LOS ESTADOS UNIDOS
(Miles de toneladas)

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Producción	6,6	16,5	50,0	66,0	82,5	248

Fuente: NBB, 2006.

Existen actualmente en los Estados Unidos 87 empresas productoras de biodiesel con una capacidad de producción de hasta 1.900 toneladas por año. De éstas, 14 son acreditadas por el National Biodiesel Board con certificación BQ9000 para la calidad del biodiesel producido. La capacidad instalada aún es mucho mayor que lo ofrecido por el mercado real. Para los próximos tres años existe la previsión de más de 65 plantas nuevas y 13 expansiones, con perspectiva de alcanzar hasta 4.620.000 toneladas de capacidad de producción.

El biodiesel es un combustible y un aditivo para el diesel que necesita estar registrado con la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) y su comercialización debe ser precedida por el registro. El programa de la EPA llamado “Clean School Bus” ofrece hasta US\$ 7 millones para ayudar a las comunidades a reducir las emisiones contaminantes y a promover el uso de biodiesel (B20 o mayor) es elegible.

La penetración del biodiesel en Estados Unidos ocurre básicamente en nichos de mercado, en flotas que poseen sistemas de almacenamiento propio y que usualmente trabajan con el B20 (20% de biodiesel en diesel), como autobuses, servicios postales y órganos de gobierno. Este porcentaje es el mínimo para atender al Energy Policy Act de 1992 que determina una cantidad mínima de vehículos empleando combustibles alternativos (AFV) en flotas de servicios públicos o del gobierno. Por cada cinco vehículos B20 la flota puede contabilizar un vehículo AFV obligatorio. Otra alternativa es realizar una adquisición de 450 galones de biodiesel (B100), que es acreditada como la adquisición de un vehículo AFV. El mayor consumidor de biodiesel es el Departamento de Defensa (USDOE, 2006) y se estima que alrededor del 75% de todas las adquisiciones de vehículos AFV son provenientes de las diferentes áreas de gobierno (no sólo biodiesel).

En el año 2005 el Congreso aprobó el “Energy Policy Act 2005”. Esta ley establece metas de volúmenes de combustibles renovables por año que deben ser cumplidas por las refinerías, *blenders* o importadores. En caso de que la meta no sea atendida, la diferencia pasa al año siguiente y se torna obligatoria. Los refinadores e importadores pueden negociar sus “créditos” excedentes.

El biodiesel es considerado también un “Diesel Premium” para motores empleados en actividades mineras y para embarcaciones. El uso de B2 (2% de biodiesel) es permitido para aumentar la lubricidad del diesel de ultra bajo contenido de azufre.

En los Estados Unidos, el biodiesel presenta precios al consumidor mayores que el diesel de petróleo (véase adelante, comparación de precios), por lo que su penetración en el mercado no es tan grande como en Alemania.

b) Canadá

El gobierno federal estableció una meta para el país en el cuadro de compromisos de abatimiento de gases de efecto invernadero del Protocolo de Kyoto. Para esta meta, en el año 2010 el 35% de la gasolina deberá ser reemplazada por el E10 (es decir, 10% de bioetanol) y 500 millones de litros de biodiesel deberán ser producidos y consumidos. Para el bioetanol, hasta CAN\$ 118 millones (US\$ 102 millones) serán invertidos por el gobierno en 11 proyectos. Los incentivos fiscales para los biocombustibles son de CAN\$ 0,10 (US 0,087) por litro de bioetanol y de CAN\$ 0,04 (US\$ 0,035) por litro de biodiesel. Varias provincias ofrecen exenciones de tasas de uso de carreteras y tres provincias aprobaron leyes locales obligatorias para el uso de mezclas con biocombustibles, posterior a la disparidad de los productos.

Actualmente existen algunos pequeños productores de biodiesel a partir de aceites usados en escala sub-comercial y cuatro productores de biodiesel de capacidades medianas o grandes: Ocean Nutrition, que trabaja con aceites de pescados provenientes del proceso de extracción de ácidos grasos Omega 3 y posee capacidad de producir hasta 6.000 toneladas anuales de biodiesel de origen animal; La Milligan Bio Technologies que tiene capacidad de hasta 4.000 toneladas de biodiesel de canola; la Rothsay con hasta 65 mil toneladas de grasas de ganado, canola y soya; y la BIOX, con capacidad para hasta 55.000 toneladas.

Un problema a superar para el aumento del uso de biodiesel es causado por las bajas temperaturas ambientes en Canadá y las propiedades de escurrimiento del biodiesel en esas condiciones.

c) Australia

En el 2000 el gobierno federal exentó el bioetanol de las tasas de combustibles hasta US\$ 0,21 por litro y fijó como meta que 1% ó al menos 350 millones de litros del total de combustible sean de alcohol producido con recursos naturales hasta el año 2010. El gobierno apoyó dos proyectos de bioetanol. En 2002, el gobierno cambió la forma de incentivo, con la desaparición de las exenciones de tasas y creación de subsidio directo a los productores de bioetanol con el mismo valor (US\$ 0,21 / litro). En el 2004, este subsidio fue extendido hasta el año de 2011. El uso de bioetanol es en mezcla de hasta 10% en la gasolina (con aviso a los consumidores) o hasta 5% sin necesidad de aviso.

En el 2003 el Ministro del Ambiente y Herencia firmó las especificaciones de calidad para el biodiesel así como los mecanismos que el gobierno usará para hacer las verificaciones de conformidad (IFQC, 2003). Dos fechas estaban previstas para las especificaciones: septiembre de 2004 (especificaciones para contenido de azufre más blandas) y enero de 2006 (especificaciones para azufre más restrictas).

El gobierno apoyó dos proyectos de bioetanol en el cuadro de compromisos que, en ese entonces, se tenía previsto para Australia con el programa de abatimiento de gases de efecto

invernadero, para cumplir el Protocolo de Kyoto, mientras el Gobierno y el Parlamento definían su posición de apoyo o no al Protocolo. Australia todavía no ha ratificado el Protocolo de Kyoto.

d) Japón

El gobierno de Japón permitió la comercialización de mezclas de hasta 3% de bioetanol con gasolina. En el ámbito de los compromisos del Protocolo de Kyoto, el país tiene como meta usar 500 millones de litros de combustibles derivados de biomasa hasta el 2010.

En la actualidad, Japón posee alrededor de 35 pequeños productores de biodiesel que emplean aceites usados como materia prima, de los cuales cinco tienen capacidad de producir más de 1.000 litros por día y sólo una capacidad de más de 10.000 litros. La producción es muy pequeña y debe ser vista como acción ambiental de reciclar el aceite usado y no como acciones de introducción comercial de biodiesel. Un factor a considerar es que, caso contrario a muchos otros países, Japón no es capaz de usar los dos beneficios típicos de productores de biodiesel: reducir las importaciones de petróleo y aumentar la producción agrícola. El país no tiene capacidad de auto-alimentarse de biocombustibles y depende de importaciones de Malasia (biodiesel) o Brasil (bioetanol).

3. Los países no-OECD de Asia: India, China, Malasia, Tailandia e Indonesia

a) India

En diciembre de 2001, el gobierno de India lanzó un programa piloto para probar la viabilidad de mezclas de etanol y gasolina como forma de absorber excedentes de azúcar y mejorar el empleo de la capacidad de producción de las destilerías. En el 2002, fue aprobada la comercialización de mezclas E5% (5% de etanol en gasolina). En 2003, el gobierno introdujo una exención de US\$ 0,02 por litro de ventas de etanol, aunque la formación de precios de etanol en India es aún afectada por diferencias de tasas entre los estados.

Las actividades en el campo del biodiesel en India están aún centradas en Universidades e Institutos de investigación, utilizando siempre aceites no-comestibles obtenidos de oleaginosas locales y, principalmente, el piñón (*Jatropha Curcas*) y “Karanja” (*Pongamia pinatta*). Se creó una misión gubernamental para explorar los aspectos principales de la cadena del biodiesel: etapa agrícola, obtención de semillas seleccionadas, extracción del aceite, producción del biodiesel, mezcla y comercialización e investigación y desarrollo. La meta central es el desarrollo de la economía rural y la generación de empleos.

Se están llevando a cabo varios ensayos de campo sobre el uso del biodiesel en autobuses, vehículos, tractores y locomotivas con mezclas que varían del B5 hasta el B100. La empresa Indian Oil está trabajando en el establecimiento de parámetros de especificación de calidad para biodiesel de piñón y han realizado ensayos en su centro de investigación. Una planta en escala de laboratorio con capacidad de producir 100 kg/día de biodiesel ya está en uso y la empresa está proyectando plantas de mayor capacidad.

Se encuentran ya en producción comercial dos pequeñas plantas, una de 1.000 litros/día, y otra de 450 litros/día usando el piñón. Proyectos de mayor capacidad para 30 a 90 toneladas por día aún no fueron construidos porque no existe la producción de piñón necesaria. El área de plantación del piñón ya es de alrededor de 10.000 ha, pero el cultivo necesita de cuatro a cinco años para ganar productividad y las primeras semillas fueron destinadas al aumento del plantío y no para la obtención de aceite.

La expectativa para India es que el biodiesel de piñón pueda crear empleos y usar vastas extensiones de tierras no adecuadas para otros cultivos agrícolas. Existen políticas de apoyo a los campesinos pobres para el cultivo del piñón (*Jatropha*).

En India existe el gran desafío de incrementar la producción de alimentos, reducir las emisiones de contaminantes por los vehículos y reducir la necesidad de petróleo. Para ello, el programa de biocombustibles debe ser conducido de forma tal que no comprometa la seguridad de la producción de alimentos (Glueck, 2005). Esto explica la opción por cultivos no comestibles y que no requieran tierras de buena calidad.

En octubre de 2005, el Ministerio de Petróleo y Gas Natural de India anunció la política de adquisición de biodiesel, válida para enero de 2006: el sector público de compañías de petróleo debe comprar biodiesel B100, a US\$ 0,56, para hacer mezcla B5 (5%). El biodiesel debe cumplir las normas de calidad del Buró Indio de Estándares.

b) China

El etanol en mezcla con la gasolina está en uso experimental y busca crear un nuevo mercado para los excedentes de maíz y reducir la demanda por petróleo importado, causada por el elevado crecimiento de la economía china. Existen subsidios del estado para cuatro plantas de etanol. Usos de mezclas de 10% de alcohol en gasolina ya estaban en curso en cinco ciudades de dos provincias en el 2003 y en el 2005 más de 27 ciudades de 8 provincias fueron incluidas en el programa.

Como forma de minimizar el consumo de derivados de petróleo China estableció un padrón de consumo máximo de combustible para los vehículos con la fase 1 empezando en 2005 y la fase 2 empezando en 2008. El consumo máximo está vinculado al peso del vehículo.

Con el aumento de los precios de petróleo y las altas tasas de crecimiento de la economía china, la industria del biodiesel se debe desarrollar con rapidez en los próximos años. Hasta el momento, la materia prima para producción de biodiesel es el aceite usado, pero con el aumento de la producción prevista serían necesarias otras materias primas. Los grandes fabricantes de plantas de biodiesel, como Lurgi, ya están implementando proyectos en el país.

Las empresas de gran tamaño que ya producían biodiesel en 2005 eran la Fujian Zuoyue New Energy Co.Ltd, con capacidad de hasta 20.000 toneladas por año y 50.000 toneladas por año en construcción, la Sichuan Gusan Biodiesel Co.Ltd con la misma capacidad y misma expansión para el año de 2006, y la Hainan Zhenghe Biodiesel Co.Ltd con 10.000 t/año (Zhenhong, 2005).

A pesar del apoyo declarado del gobierno para el biodiesel, el desarrollo del bioetanol es prioritario y hasta ahora no existen regulaciones especiales o beneficios fiscales para el biodiesel. Los productores usan como estándar de calidad, la antigua norma DIN E 51606 FAME de Alemania, pero deben adoptar a corto plazo la norma europea EN 14241.

c) Malasia

A pesar de ser un país exportador de petróleo y gas natural, el país también es el mayor productor de aceite de palma en el mundo. El uso local del biodiesel puede ayudar a reducir el costo de los subsidios para las ventas por menor de los derivados de petróleo.

El gobierno creó un programa de producción de biodiesel con el aceite de palma. La primera fábrica fue puesta en marcha en 2004. Los problemas con el biodiesel producido de aceite de palma están asociados a sus propiedades a bajas temperaturas: el alto valor del punto de enturbamiento (15°C) y del punto de obstrucción de filtros (15°C). Debido a esto, sólo en temperaturas ambientes superiores a 20°C el biodiesel podrá ser empleado sin ser calentado. Para superar este problema, los productores de biodiesel desarrollaron una versión de bajo punto de fluidez (LPPPD Low Pour Point Palm Biodiesel) donde los puntos de enturbamiento y de obstrucción de filtros es menor que 0°C. Las demás propiedades del biodiesel de palma atienden tanto a la norma ASTM de los Estados Unidos como la norma europea EN14214.

Para uso local, el “aceite de palma procesado” (Foon y otros, 2005) que no es biodiesel, esta siendo probado en mezclas de 2% a 5% con diesel, pero no hay mayores esclarecimientos sobre el tipo de procesamiento empleado ni sobre los efectos de largo plazo en la durabilidad de los motores.

En Malasia, la mezcla B5 (5% de biodiesel) deberá ser universal a partir del 2008. Los productores de aceite de palma también pretenden que la producción de biodiesel posibilite exportaciones para Europa y Japón.

d) Tailandia

El gobierno de Tailandia mostró interés en introducir un programa de gran escala de producción de alcohol desde el 2002 con el objetivo de disminuir los impactos de la creciente importación de petróleo y derivados y sustituir el MTBE por alcohol para aumento de octanaje y oxigenación de la gasolina. La meta es la comercialización de mezclas de hasta 10% de alcohol en la gasolina y para lo cual el gobierno concedió exenciones de tasas para etanol, concesión de inversiones empleando los fondos estatales de Hidrocarburos y de Conservación de Energía, exenciones de aranceles sobre máquinas y ocho años de exención fiscal a los productores.

Para el biodiesel, el gobierno definió una meta de participación de 3% de biodiesel hasta el 2011. La empresa de petróleo de Tailandia, la PTT, anunció que el año 2007 empezará a comercializar el B5. El Comité de Promoción y Desarrollo de Biodiesel aprobó un presupuesto de alrededor de US\$ 31 millones para la promoción del biodiesel en el período 2005-2012.

e) **Indonesia**

El país tiene como meta el uso del 2% de biodiesel hasta el 2010 y 5% hasta el 2025. La oleaginosa escogida es la palma aceitera. Indonesia es el segundo mayor exportador de aceite de palma y debe convertirse en el primero en pocos años. El país también es un gran exportador de petróleo y gas natural y hasta ahora no hay incentivos fiscales para biocombustibles.

4. Países de América Latina

a) **Brasil**

Brasil es el país que posee la mayor producción de biocombustibles con gran predominio del bioetanol de caña de azúcar. En los años setenta el país estableció el “Proálcool”, con el objetivo de sustituir el petróleo importado e implantó el uso de bioetanol combustible. Hoy, se comercializa el bioetanol “puro” (etanol hidratado, 93,4%) y el etanol anhidro (99,4% min.) mezclado en toda gasolina de uso en vehículos en porcentajes entre 20% y 25%, dependiendo de la oferta de alcohol. El etanol posee exenciones fiscales frente a la gasolina. La comercialización de vehículos “flex-fuel, que empezó en el 2002, permite que el consumidor escoja el combustible que le de más ventajas: alcohol o gasolina.

Desde finales de los años setenta, el Instituto Nacional de Tecnología (INT) empezó a probar aceites vegetales en motores diesel visualizando su sustitución. En la Universidad Federal de Ceará (UFC) empezaron las pruebas con biodiesel. En 1980, el gobierno creó un programa llamado “Prodiesel” para coordinar los trabajos usando aceites vegetales en motores diesel. Fueron probados aceites vegetales puros en diferentes mezclas con el diesel en motores. Se encontraron problemas de uso de aceites puros en motores diesel. En 1983 un nuevo programa de gobierno, llamado OVEG (Óleos Vegetales) trabajó con mezclas de hasta 30% de aceites vegetales en diesel, mezclas de 20% de aceite vegetal con 7% de etanol y 73% de diesel y biodiesel (mono-alquil ésteres de aceites vegetales) B100 y B30.

Desde el punto de vista técnico, las mezclas de aceites vegetales con diesel no fueron aprobadas para amplia comercialización por problemas en los motores de inyección directa (la mayoría de la flota). Mezclas de hasta 30% de aceite vegetal en diesel eran aceptables para motores de inyección indirecta. Las mezclas empleando etanol y aceites vegetales con diesel no presentaron mejores resultados. Hubo mejora de la viscosidad de la mezcla aunque tuvieron otros problemas. Las pruebas con biodiesel presentaron los mejores resultados aunque con problemas de dilución de aceite lubricante y compatibilidad con algunos materiales (B100 y B30). Pudieron ser empleados porcentajes menores de biodiesel pero los precios de petróleo empezaron a disminuir y la viabilidad económica, que ya era discutible, desapareció. El programa terminó en 1985 (Lima 2004).

En el año 2000 volvió a ser considerado el uso de biodiesel, ahora con otras motivaciones además de la sustitución de importaciones. Algunas iniciativas de trabajos se desarrollaron en Universidades y, en el 2001 el biodiesel pasa ser una de las prioridades del “Ministerio de Ciencia y Tecnología”.

El gobierno crea un Programa de Biodiesel en 2003, con los siguientes objetivos:

- Introducir de forma sostenible un nuevo combustible renovable.
- Diversificar la matriz energética.
- Reducir las importaciones de petróleo y diesel.
- Crear empleos y renta en la agricultura.
- Mantener y fijar las familias en el campo.
- Aprovechar suelos no adecuados para producción de alimentos.
- Hacer disponible un combustible mejor desde el punto de vista ambiental.

La formalización del programa de biodiesel en Brasil es a través de la Ley 11.097 de 13 de enero 2005 que establece porcentajes mínimos obligatorios de 2% de biodiesel en el diesel a partir del 2008 y de 5% a partir del 2013. En esta ley, las atribuciones de la Agencia Nacional do Petróleo (ANP) son extendidas para abarcar también los biocombustibles en general, llamándose ahora “Agencia Nacional do Petróleo, Gas Natural e Biocombustíveis”.

Las definiciones de las exenciones fiscales y cómo y cuándo aplicarlas se encuentran en la Ley 11.116 de 19 de mayo 2005. Existe exención total de los tributos federales para algunas materias primas, algunos tipos de producción y algunas regiones del país. La ley establece el concepto de “combustible social” que trae beneficios fiscales para la producción de biodiesel que esté basada en la agricultura familiar (pequeños productores de oleaginosas). Una cuestión aún no resuelta es la aplicación de las tasas estatales (similares al IVA) que pueden ayudar o dificultar la penetración del biodiesel en varios estados (provincias) de Brasil (Lovatelli 2006). Mayores detalles con respecto a costos y exenciones de tasas se presentan en el próximo capítulo.

Como Brasil es un gran productor de bioetanol, la ruta ética para producción de biodiesel sería la más adecuada. La ruta metélica emplea metanol producido de gas natural o petróleo (fuentes fósiles) y el país importa este producto. Por lo tanto, sea por motivos ambientales o por reducción de importaciones, es importante que los problemas con la ruta ética sean resueltos.

Las materias primas más indicadas para la agricultura familiar y fijación de las poblaciones campesinas son el higüerillo y la palma, que aún no poseen volúmenes de producción adecuados. La soya si posee volumen de producción adecuado pero es mecanizada (pocos empleos) y es producida en tierras buenas para agricultura. Para incentivar a los pequeños productores a cultivar el higüerillo en tierras pobres el gobierno aportó alrededor de US\$ 42 millones en préstamos.

En septiembre de 2005 (CNPE, 2005) el gobierno autorizó la introducción obligatoria del 2% de biodiesel a partir de enero 2006 para el producto producido de acuerdo con el llamado “sello social”, es decir, para el biodiesel producido por la agricultura familiar certificada por el “Ministerio de Desenvolvimento Agrário”. Los productores de diesel tendrían de adquirir el biodiesel con sello social a partir de remates públicos por el menor precio ofrecido por los productores catastrados.

El primer remate público se produjo en noviembre de 2005 y fueron adquiridos 70 millones de litros de biodiesel para ser entregados hasta junio de 2006. El segundo remate

público ocurrió en marzo de 2006 para entregarlos entre julio de 2006 y junio de 2007 por un volumen total de 170 millones de litros. El tercer remate público se hizo en julio de 2006 y fueron rematados 50 millones de litros. El cuarto remate público, en la misma fecha que el tercero, fue destinado a proyectos aún por ser construidos (oferta virtual) y fueron rematados 550 millones de litros.

El objetivo de los remates públicos es anticipar la penetración del biodiesel para incentivar las inversiones en la agricultura y en las plantas productoras. Para obtener el porcentaje obligatorio de 2% a partir de 2008 se estima una cantidad necesaria alrededor de 800 millones de litros anuales. Los remates públicos señalan a los inversionistas la seguridad de la adquisición, por parte de los mayoristas de derivados de petróleo, del biodiesel producido antes de 2008.

Hasta noviembre de 2006, existían 19 plantas de biodiesel autorizadas por la ANP, asociadas a 10 grupos empresariales con una capacidad instalada de alrededor de 640 millones de litros anuales, es decir, casi lo necesario a partir de enero 2008. La producción total de biodiesel en el 2006 fue alrededor de 68,5 millones de litros (cerca de 60,3 miles toneladas).

b) Argentina

El Decreto 1396/2001 crea el “Plan de competitividad para el combustible biodiesel” y trae otras provisiones. Mediante este plan los productores de biodiesel son exonerados de varios tributos por 10 años (Lovatelli, 2001). La Resolución 120/2001 definió las especificaciones técnicas del producto. Las exenciones son de US\$ 0,15 por litro de biodiesel, que equivale al 100% de la carga fiscal de diesel de petróleo.

Actualmente, existen 10 plantas productoras de biodiesel en Argentina con una capacidad total de alrededor de 60.000 toneladas por año. Existen flotas de vehículos realizando pruebas con biodiesel en Buenos Aires. Una ley que define el uso mandatorio de B5 está en discusión en el Congreso, pero no aún no ha sido concluida. En Argentina, la materia prima para el biodiesel es la soya que el país produce y exporta en gran cantidad.

c) México

La información más consistente sobre las perspectivas de uso del biodiesel en México se encuentra en un estudio de factibilidad conducido por la GTZ y el BID (Thrän y otros, 2006). En resumen, el estudio alerta el hecho que México aún importa la mayoría de sus semillas oleaginosas por lo que en caso de una mayor producción nacional de semillas deberán ser aprovechadas en la producción de aceites comestibles. El estudio no recomienda el subsidio del gobierno para la producción de semillas para biodiesel para evitar las amenazas de desabastecimiento de semillas para producción de aceite comestible (el dilema “¿granos o combustibles?”). De la misma forma, los precios diferenciados según el uso para productos tipo “commodities”, tienden a crear un mercado negro.

Sin embargo, con el apoyo de la industria extractora y refinadora de aceites comestibles, una aliada y colaboradora natural de un programa de biodiesel, se podrá avanzar en el uso de

biodiesel utilizando semillas u otras materias primas que no sean competidoras de las semillas comestibles.

Con relación a exenciones fiscales, el estudio resalta que “hoy el biodiesel no está sujeto a impuestos (dado que la legislación actual en la materia se refiere explícitamente a los hidrocarburos)”, pero esta situación debe ser regularizada: si el deseo es mantener las exenciones de impuestos de combustibles para el biodiesel, esto debe hacerse de forma explícita y detallada, con los valores de la exención y el plazo de validez de estas determinaciones.

Actualmente México cuenta con una planta de producción comercial de biodiesel de la empresa Grupos Energéticos, inaugurada en julio de 2005 y con capacidad de producción de alrededor de 3.000 toneladas de biodiesel por año. La materia prima empleada es grasa de ganado con porcentajes de ácidos grasos debajo del 3%.

d) Colombia

Colombia empezó un programa de uso de biodiesel y está cumpliendo las etapas previstas por la Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía. En septiembre de 2005 se completó la regulación de calidad para el producto (especificaciones técnicas). Las definiciones gubernamentales para señales de precios se concluyeron en diciembre de 2005. El desarrollo de pruebas estuvo previsto para el período julio de 2005 y julio de 2006, con caracterización de mezclas, pruebas en laboratorio y ruta. El reglamento de la logística estaba previsto para junio de 2006. Los ajustes finales de la regulación están previstos para julio de 2007 y el inicio del programa en fase comercial en junio de 2008. En Colombia se usará el aceite de palma para producir el biodiesel y se están ampliando las plantaciones para ello.

e) Países de Centroamérica

Los países de Centroamérica, objeto de este informe, son tratados en sus secciones correspondientes.

III. ESTIMACIONES DE COSTOS Y PRECIOS PARA EL BIODIESEL

Este capítulo trata los costos para el biodiesel, considerando los costos de inversión, de las materias primas, del biodiesel producido y de la formación de precios hasta el consumidor, incluyendo los mecanismos de compensación o de obligatoriedad. Se muestran las diferentes características de formación de costos para el biodiesel de algunos de los países donde ya se está produciendo en gran escala y al final de este capítulo se analizan comparaciones entre los costos o precios del biodiesel y el diesel.

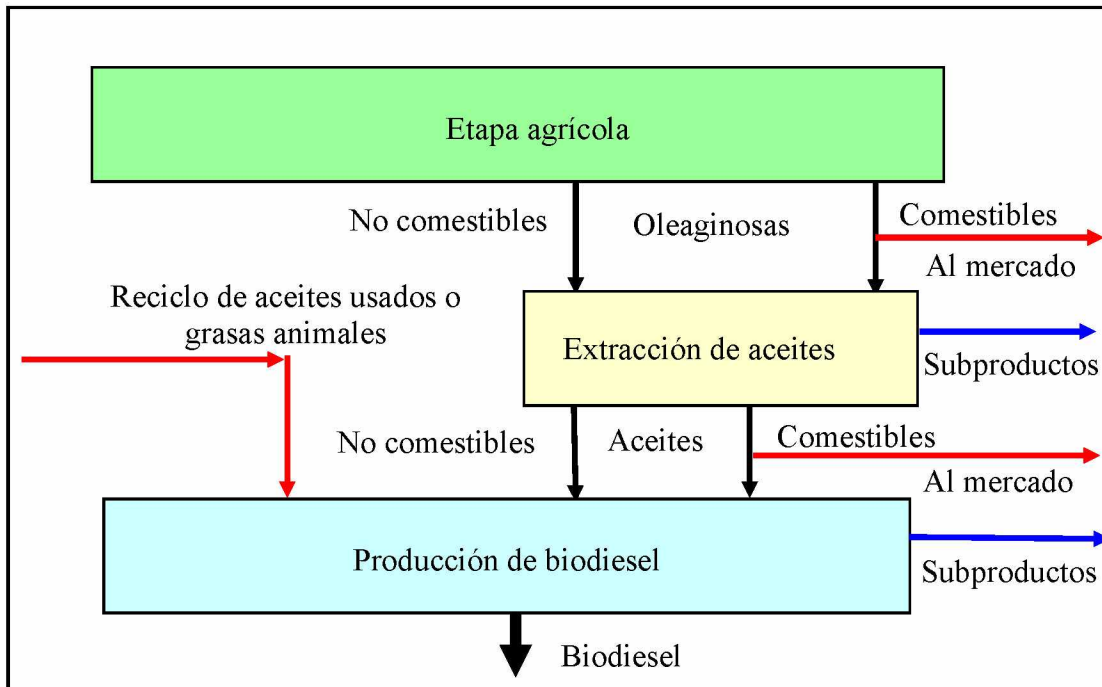
La experiencia internacional indica que los costos más importantes de producción de biodiesel están en los precios (o costos) de la materia prima básica, es decir, el aceite o grasa. Al hablar de costos o precios de biodiesel, se debe inicialmente discutir los costos y precios de las oleaginosas, después de los aceites y grasas y finalmente cómo impacta esto en los costos de producción y precios mínimos del biodiesel.

La figura 10 presenta los flujos de materias primas desde la etapa agrícola hasta la producción del biodiesel. Los productos de la etapa agrícola son las oleaginosas (semillas o frutos) que pueden ser comestibles (maíz, arroz, soya, maní y ajonjolí) o no comestibles (como frutos de palma, tempate, higüerillo, colza). En el caso de ser comestibles, la producción de aceite debe competir con el consumo directo alimenticio. A su vez, las oleaginosas no comestibles pueden producir aceites comestibles (colza, palma) o no comestibles (tempate, higüerillo). Aquí también existe una competencia entre la producción de biodiesel y el consumo alimenticio de los aceites comestibles. Además, la producción de biodiesel puede emplear materias primas alternativas como aceites usados u otras grasas recicladas.

La estructura productiva, por otro lado, puede tener diversos grados de integración: producción aislada de biodiesel, o producción integrada de aceites y biodiesel, o aún integración completa desde la etapa agrícola hasta la producción del biodiesel. En cada caso, las condiciones de análisis de costo de producción del biodiesel son diversas.

Figura 10

COMPETENCIA ENTRE USOS ALIMENTICIOS O NO ALIMENTICIOS



Fuente: Elaboración propia

1. Costos y precios de materias primas para el biodiesel

a) Costos de producción de oleaginosas

Los costos de producción de oleaginosas son relevantes para estructuras verticales integradas de producción donde un mismo grupo económico se ocupa desde la siembra de la oleaginosa (etapa agrícola) hasta la elaboración del biodiesel. En este caso, los márgenes comerciales en la etapa agrícola no son tan importantes porque se pueden distribuir a lo largo de las demás etapas.

El examen detallado de la formación de costos de producción de las oleaginosas debe tener en cuenta los costos locales de donde se establecerán las plantaciones. No es objetivo de este trabajo hacer tales estudios detallados. Los valores que serán considerados fueron obtenidos de literatura para diversos países y deben ser tomados tan solo como referencias iniciales. Para cada proyecto particular se deben tener en cuenta los costos de la tierra en la región (adquisición o arrendamiento, como sea el caso), los costos de insumos agrícolas, mano de obra para las tareas específicas del manejo desde la siembra hasta la cosecha, el calendario agrícola y sus impactos sobre costos (eventuales efectos estacionales), la productividad promedia esperada para el lugar, el contenido de aceite en la oleaginosa (de acuerdo a la variedad escogida), los costos de almacenamiento y de flete de transporte hasta la planta extractora, los tributos o tasas agrícolas, etc.

Para hacer estimaciones del costo de producción para biodiesel producido en diversas partes del país con diversas oleaginosas se hicieron estimaciones detalladas de los costos de materias primas oleaginosas en Brasil (CEPEA, 2005), que condujeron a los rangos de valores presentes en el cuadro 24. Las diferencias de costos para una misma oleaginosa tienen en cuenta variaciones regionales de costos y productividad agrícola en el país.

Cuadro 24

COSTOS DE OLEAGINOSAS EN BRASIL

	Costo de semillas (US\$/ton)	
Soya (grano)	167 mínimo	250 máximo
Girasol (semillas)	167 mínimo	258 máximo
Algodón (semillas)	75 mínimo	85 máximo
Maní (con cáscara)	357 promedio	
Palma (frutos con racimos)	55 promedio	
Higüerillo (semillas)	248 promedio	

Fuente: CEPEA, 2006.

Otros valores para costos de la palma se pueden obtener del sitio de Fedepalma (Colombia) estimados en 2004, de US\$ 66 a US\$ 68 por tonelada de frutos. Macedo y Nogueira (2005) relatan costos de producción de higüerillo informados por EMBRAPA en alrededor de R\$ 0,50/kg de semillas (US\$ 200/ton).

En India, se estimó en US\$ 105/ton los costos de producción de semillas de *Jatropha* (PCRA, 2004) pero estos son datos de proyecto y no confirmados. No se obtuvieron otros datos de costos agrícolas de oleaginosas.

b) Precios de mercado de oleaginosas

Los precios de mercado de las oleaginosas son relevantes para estructuras integradas de extracción de aceite y producción de biodiesel. La empresa debe realizar adquisiciones de materias primas en el mercado de oleaginosas, haciendo competencia con las demandas del mercado alimenticio en muchos casos.

El cuadro 25 presenta los precios internacionales, en los principales mercados, para el maíz, la soya y la canola. Es importante tener en cuenta que el maíz y la soya en grano pueden servir al mercado de alimentos directamente. La canola debe ser usada para extracción de aceite y producción de harina o torta. En este periodo, los precios estuvieron muy volátiles y con tendencia de elevación a largo plazo.

Cuadro 25

PRECIOS INTERNACIONALES DE OLEAGINOSAS, 2005 A SEPTIEMBRE 2006

Oleaginosa	Local – condición	Precio max. US\$ / ton	Precio min. US\$ / ton	Precio sep.2006 US\$ / ton
Maíz amar.	FOB Golfo USA	121	87	121
Maíz	Chicago	148	137	137
Soya amar.	FOB Golfo USA	269	218	223
Soya	Róterdam	399	390	399
Soya	Chicago	258	240	258
Soya	China	382	342	382
Soya	Tokio – transgenica	295	247	295
Soya	Tokio – normal	362	301	313
Canola	Winnipeg – Canadá	340	321	340

Fuente: Von Lampe, 2006.

c) Costos de producción de aceites y grasas vegetales

El cuadro 26 indica los costos de producción de algunos aceites vegetales en varios países (Kaltner, 2005). Para llegar a los costos de producción del aceite se debe tener en cuenta los precios de los frutos o semillas y los costos industriales de extracción del aceite. Según Fedepalma (Colombia), los costos de los frutos de palma corresponden a un 90% del total mientras que los costos industriales a un 10%. Más adelante se presentarán costos de extracción para las diferentes oleaginosas.

Una información interesante para los países de Centroamérica fue también obtenida de Kaltner (2005), los costos de producción por tonelada de aceite de palma como función de la edad de las plantas (véase el cuadro 27). Con esto, las empresas integradas pueden estimar sus costos de producción de aceite tomando en cuenta los años de implementación de cada una de las fincas productoras de frutos. Es de notar que el costo del aceite está cerca de su valor mínimo para fincas entre 10 y 20 años de edad. Para fincas muy recientes, la productividad es tan baja que el aceite producido por ellas es muy caro. Cuando las fincas se vuelven viejas (20 a 25 años), su productividad empieza a caer y el costo del aceite empieza a subir.

Cuadro 26

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ACEITES VEGETALES

Aceites	País	Costo promedio US\$/ton	Precio de mercado promedio US\$/ton
Soya	USA	450	440
	Brasil	215	
	Argentina	215	
	China	405	
Palma	Indonesia	165	410
	Malasia	225	
	Brasil	250	
	Guatemala ^a	200 – 300	
	Costa Rica ^a	200 – 300	
Higüerillo	Colombia ^b	352 – 360	1 000
	Brasil	600	
	Brasil ^c	430 – 570	
Jatropha	India ^d	345 – 390	

Fuentes: Kaltner, 2005; a/ Información personal; b/ Fedepalma, 2004; c/ Macedo & Nogueira, 2005; d/ PCRA, 2004.

Cuadro 27

COSTO DEL ACEITE DE PALMA EN FUNCIÓN DE LA EDAD DE LAS FINCAS

Año de implementación	Costo del aceite US\$/ton
1 a 4	Sin producción
5	650
6	400
7	240
8	190
9	180
10 hasta 20	170
21	175
22	180
23	190
24	200
25	220

Fuente: Kaltner, 2005.

d) Precios de mercado de aceites vegetales y grasas animales

Los precios de mercado de aceites o grasas son relevantes para plantas aisladas de producción de biodiesel. Las empresas productoras de biodiesel deben hacer adquisiciones de materias primas en el mercado de aceites o grasas vegetales haciendo competencia con los mercados de alimentos y de usos industriales, entre ellos la producción de biodiesel. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estimó que en el 2006 los usos industriales consumieron alrededor del 16,5% de los aceites y grasas disponibles en el mundo, mientras que el uso alimenticio fue de 83,5%. La serie histórica presenta un incremento de la participación de usos industriales de aceites, que en el 2000 consumieron sólo el 10,5%.

El cuadro 28 presenta precios internacionales de algunos aceites y grasas vegetales, de acuerdo con los locales donde son comercializados. Los precios de aceites en el mercado internacional presentan volatilidad elevada como se puede ver en los gráficos 2, 3 y 4 (Reca, 2005; Booth y otros, 2005; USDA, 2006). Las tendencias de elevación o de baja de las cotizaciones en el mercado internacional se aplican simultáneamente a todos los aceites y grasas, incluyendo las grasas animales. Esto ocurre por que existe una gran capacidad de sustitución de un aceite por otro en la gran mayoría de los empleos. Los aceites hacen competencia de usos y de precios.

El análisis de los gráficos muestra que para todos los aceites y grasas las variaciones de precios son grandes y el 2001 fue el año de menores precios. Existen aceites de más alto valor de mercado presentados en el gráfico 2, arbitrariamente definidos como aquellos que, en algún momento de la serie de datos, pasaron los US\$ 700/ton. El aceite de maní se destaca de los demás con precios consistentemente elevados. Los otros aceites en ese gráfico son de colza, copra, girasol y algodón. El aceite de girasol tenía comportamiento y precios muy similares al aceite de soya, pero en los últimos años su precio se elevó drásticamente.

Cuadro 28

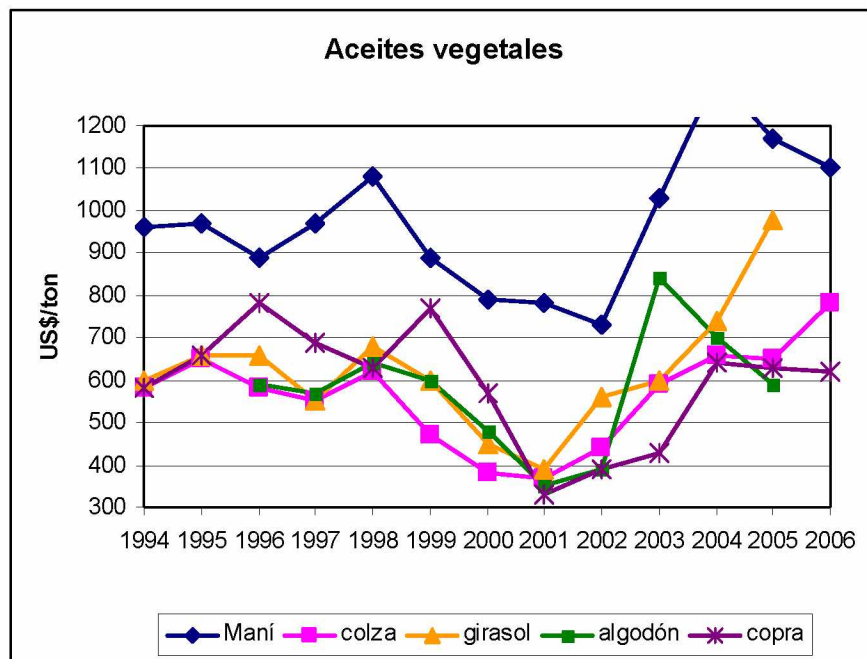
PRECIOS INTERNACIONALES DE ACEITES, 2005 A SEPTIEMBRE 2006

Aceite	Local – condición	Precio máximo US\$ / ton	Precio mínimo US\$ / ton	Precio sep.2006 US\$ / ton
Soya crudo	FOB Buenos Aires	517	427	517
Soya	Róterdam	731	707	731
Soya	Chicago	659	625	659
Girasol	Róterdam	760	720	760
Canola	Róterdam	867	855	855
Maní	Róterdam	1 175	1 175	1 175
Palma	Róterdam	585	557	585
Palma kernel	Róterdam	590	590	590
Palma	FOB Malasia	435	410	423
Palma kernel	FOB Malasia	610	605	610
Copra crudo	Róterdam	600	590	600

Fuentes: Palmoil.com, 2006.

Gráfico 2

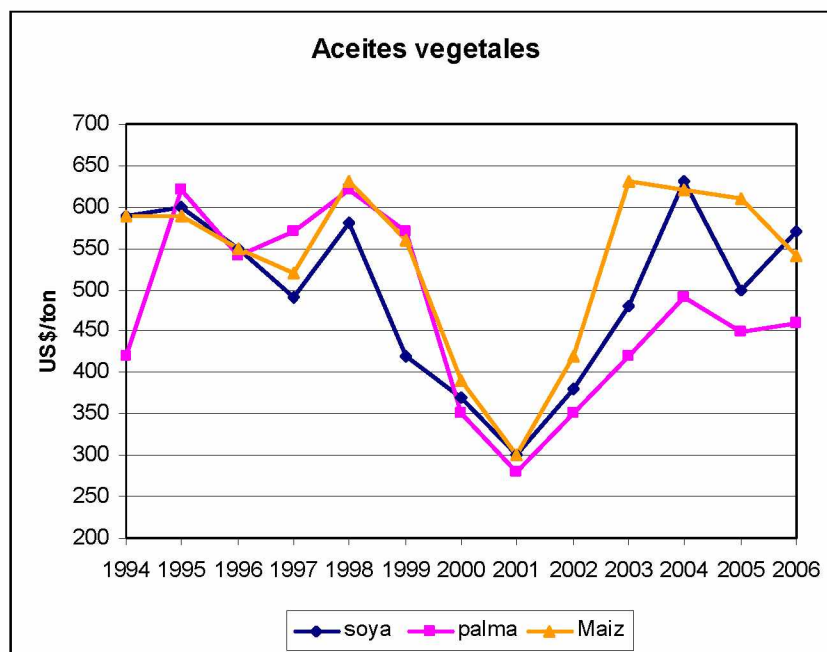
EVOLUCIÓN DE PRECIOS – ACEITES DE ALTO VALOR



Fuente: Rabobank Reca, A., 2005; Booth y otros, 2005; USDA, 2006; Phillipine Coconut Authority, 2006; Austrian Biofuels Institute, 2006

Gráfico 3

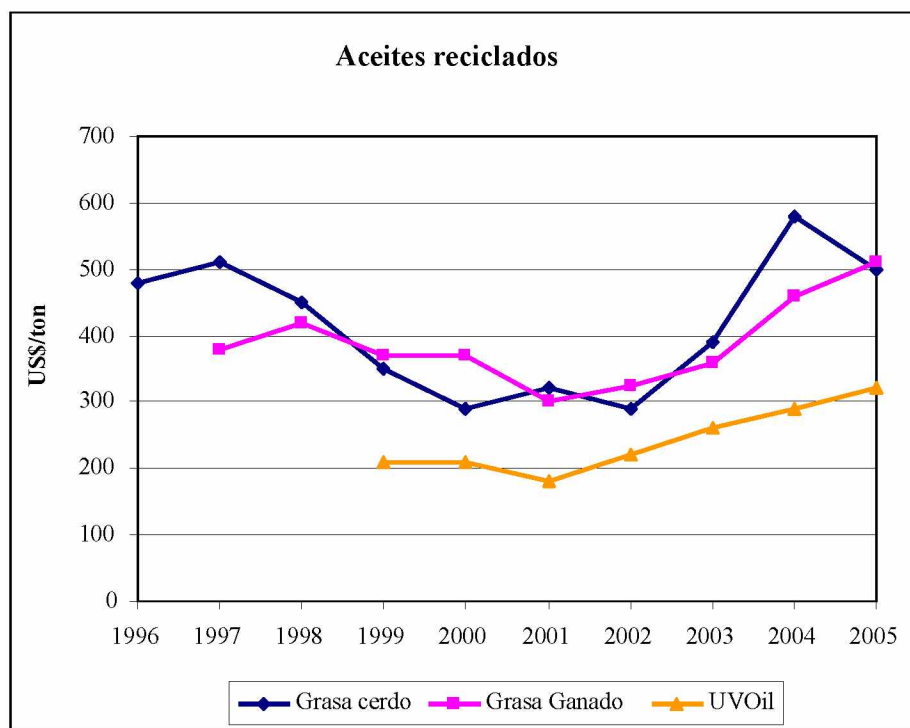
EVOLUCIÓN DE PRECIOS – ACEITES DE VALOR INTERMEDIARIO



Fuente: Rabobank Reca, A., 2005; Booth y otros, 2005; USDA, 2006; Phillipine Coconut Authority, 2006; Austrian Biofuels Institute, 2006

Gráfico 4

EVOLUCIÓN DE PRECIOS – ACEITES USADOS Y GRASA ANIMAL



Fuente: Rabobank Reca, A., 2005; Booth y otros, 2005; USDA, 2006; Phillipine Coconut Authority, 2006; Austrian Biofuels Institute, 2006

El gráfico 3 presenta los aceites de precios intermedios, de soya, de palma y de maíz. Estos aceites poseen un comportamiento de evolución de precios muy similar. En general, el aceite de maíz posee precios un poco más elevados que los otros y los aceites de soya y de palma se disputan por los menores precios. No es casualidad que los mayores volúmenes de aceites vegetales comercializados son de soya y de palma.

El gráfico 4 presenta los precios de grasas animales (cerdo y ganado) y de aceite vegetal usado (reciclado). Son los mejores precios como materias primas para el biodiesel pero no poseen composición y calidad constantes, lo que obliga a un tratamiento previo a la transesterificación.

Aún no existen precios de mercado para el aceite de piñón (*Jatropha*). El aceite de higüerillo es otra opción de materia prima para biodiesel apta para siembra en tierras de menor calidad. El aceite de higüerillo, posee un mercado alrededor de 400.000 toneladas anuales y posee precios muy elevados. Datos de una serie histórica de precios para los años noventa (valores mensuales de 1989 hasta 1997) sitúan los precios entre US\$ 780 y US\$ 1.100 por tonelada. No se obtuvo una serie histórica más reciente, pero todas las referencias que tratan de precios de aceite de higüerillo (castor oil) ponen un precio de US\$ 800 por tonelada como precio mínimo de mercado.

Una evaluación de febrero de 2006 realizada por la Comisión Europea (European Comisión, 2006) sobre el mercado de aceites vegetales indica que la tendencia de aumento de

producción y de consumo deben continuar en los próximos años. El crecimiento de la comercialización de los aceites fue consistentemente mayor que el crecimiento de las oleaginosas y de las tortas debido al aumento del uso industrial de los aceites vegetales, incluyendo la producción de biodiesel. Las proyecciones del trabajo apuntan a un aumento en la participación del aceite de palma (con dos tercios del mercado internacional suplidos por Malasia e Indonesia). Debido a una fuerte demanda, las proyecciones son para una tendencia de aumento de precios de los aceites vegetales en los próximos diez años.

Cuando se analiza el control societario sobre las plantas de extracción de aceites vegetales, se puede constatar que existe una gran concentración en el mercado de extracción, en particular en la Unión Europea y en los Estados Unidos. Según Reza (2005) tres empresas multinacionales dominan el 83% del mercado de extracción de aceites vegetales en la Unión Europea y sólo 17% son producidos por productores locales independientes. En los Estados Unidos, las mismas tres empresas dominan un 74% del mercado restando a otros productores el 16%. Para Brasil, las empresas multinacionales dominan alrededor de 46% del mercado (39% las tres anteriormente mencionadas). Algo similar ocurre en Argentina donde el 52% del mercado de extracción es dominado por empresas multinacionales. En China, los productores locales tienen alrededor de 88% del mercado y las grandes multinacionales un 12%. El poder de mercado de algunas grandes empresas extractoras de aceites puede dificultar el ingreso de nuevos agentes en este mercado, especialmente en coyunturas donde los márgenes comerciales estén bajos.

2. Costos de producción de biodiesel

a) Costos de inversión en la planta de biodiesel

Las plantas de biodiesel pueden ser de diferentes capacidades. Los países que ya poseen gran producción comercial de biodiesel poseen plantas de capacidad industrial, mientras que los países que aún están haciendo evaluaciones sobre las posibilidades de desarrollar producción en gran escala, poseen en general plantas piloto o de pequeña capacidad. Como en general existe el efecto de escala para los costos de inversión, la información está dividida en dos categorías según la capacidad de las instalaciones.

Es necesario tener claro que las inversiones presentadas adelante se refieren a los equipos de la planta, y no incluyen, por ejemplo, las inversiones en adquisiciones de suelo, construcciones civiles, tanques de almacenaje, laboratorios, oficinas administrativas, costos de implementación del proyecto, licencias ambientales y otros costos administrativos.

b) Inversiones en plantas de pequeña capacidad

Para plantas de pequeña capacidad los datos son más escasos y dependen de los sistemas incluidos: tipo de tratamiento del aceite antes de la reacción, tratamiento o no de la glicerina, recuperación o no de metanol y de aguas para purificación del biodiesel, etc.

Gran parte de las instalaciones de pequeña capacidad fueron construidas especialmente para cada proyecto y no corresponden a tamaños estándar o modulares, sino producidas de forma

artesanal. Es evidente que este tipo de instalación posee alto costo por unidad de biodiesel producido.

Existen todavía pocos productores comerciales de pequeñas plantas modulares, con producción por bateada o continua. Para ellos no se cuenta con información sobre el tratamiento de la glicerina y de otros efluentes ni sobre la calidad del biodiesel. En el cuadro 29 se muestran algunos costos de inversión de sistemas con estas características.

Cuadro 29

COSTOS DE INVERSIÓN: PLANTAS DE PEQUEÑA CAPACIDAD

Fabricante	Modelo – tipo	Capacidad Ton / año	Inversión ^a US\$ mil	Inversión por ton US\$ / ton/año
Flowtech	M4 – bateada	105	25 ^b	238
	M8 – bateada	210	30 ^b	143
	M20 – bateada	530	50 ^b	95
	C15 – continuo	4000	450 ^b	113
BioDieselTech	CPU 500 – con	3600	1300	361 ^c
NREL estimado	Bateada	1760	920	522

Fuente: Sitios de Internet de las empresas.

a/ No incluyen costos de proyecto, construcción, de suelo, etc.

b/ No incluyen tanques, separadores de metanol, glicerina bruta (60%)

c/ Glicerina 90% sin efluentes.

c) Inversiones en plantas de gran capacidad

Con respecto a plantas de gran capacidad, algunos valores de costos de inversión se encuentran en el análisis de plantas o proyectos y están en un rango de inversiones por capacidad (dólares por tonelada de biodiesel por año) más confiable. En proyectos de mayor capacidad las condiciones operacionales (número de horas por día) son más claras, así como la calidad de la glicerina obtenida, el grado de recuperación del metanol en exceso, la calidad del biodiesel producido y el manejo de efluentes.

Los costos de inversión pueden incluir la planta de producción de aceite. En estos casos, los costos de inversión serán mayores, pero los costos de producción serán menores. El cuadro 30 muestra algunos datos de instalaciones de gran capacidad construidas en varios países y estimaciones de instituciones gubernamentales.

Estimaciones de Fortenbery (2005) indican que los costos de la planta de transesterificación constituyen alrededor del 65% de las inversiones totales, que toman en cuenta la adquisición de tierras, tanques de almacenamiento, obras civiles, construcción, mano de obra y otros costos variados.

Cuadro 30

COSTO DE INVERSIÓN: PLANTAS DE GRAN CAPACIDAD

Instalación	País	Capacidad Ton / año	Inversión ^a US\$ mil	Inversión/ton/año US\$ / ton/año
AleSat	Brasil	100 000	61 000	610 ^b
Ecodiesel	Brasil	105 000	33 000	314
Granol	Brasil	100 000	30 500	305
USDA estimación	EUA	100 000	32 000	320
NREL estimación	EUA	100 000	34 000	340
Lurgi	Alemania	60 000	10 000	167
Lurgi	Alemania	120 000	15 000	125
Fortenbery, 2005	USA	33 000	5 500	167
S&T ² , 2004	Canadá	56 700	13 500	238
Saville, 2004	Canadá	38 000	12 900	366
Indian Oil	India	20 000	6 600 a 8 800	330 a 440

a/ No incluyen costos de proyecto, construcción, de suelo, etc.

b/ Incluye la planta de producción de aceite.

d) Costos de materias primas: metanol y etanol

A pesar de que el metanol puede ser producido de materias primas renovables, esto no es lo más común, el metanol obtenido de gas natural o de procesos petroquímicos es el que domina el mercado debido a sus costos de producción más bajos. Por su origen fósil, su empleo disminuye el apelo ambiental del biodiesel. El metanol es el alcohol más empleado en la reacción de transesterificación. El mercado internacional de metanol puso precios de alrededor de US\$ 500 por tonelada en 2007. Los precios del metanol están elevados porque los precios del petróleo y del gas natural también están muy altos. En el 2001 los precios estaban cerca de los US\$ 150, subieron a US\$ 280 en 2004 y llegaron hasta US\$ 600 en noviembre de 2006 (Methanex, 2007). Esto ocasiona impactos sobre los costos de producción del biodiesel.

El etanol anhidro –producido con la caña de azúcar– es el producto con mayor apelo ambiental para la producción de biodiesel, pero sus precios y las dificultades técnicas en el proceso de transesterificación (discutidas en el capítulo I) aún constituyen barreras para su empleo. Los precios del etanol anhidro en Brasil en los dos últimos años oscilaron entre US\$ 450 y US\$ 600 por tonelada (CEPEA, site). Los precios del etanol anhidro en los Estados Unidos están en el rango de US\$ 680 hasta US\$ 920 (AFI, 2007).

e) Costos operacionales de producción de Biodiesel

Para empresas productoras de biodiesel integradas desde la etapa agrícola, el costo importante es el costo de la materia prima oleaginosa sobre el cual se suman los costos de extracción de aceite y de producción de biodiesel. Para plantas combinadas de extracción de aceite y producción de biodiesel son los precios de mercado de las oleaginosas que cuentan; para plantas exclusivas de producción de biodiesel son los precios de mercado del aceite o de las grasas animales los que son fundamentales.

Los costos y precios de oleaginosas y aceites vegetales fueron ya discutidos anteriormente. Según las referencias consultadas, el costo de las materias primas constituye desde el 75% hasta el 85% de los costos totales de producción de biodiesel. Los costos indirectos (de inversión, administrativos, mano de obra) constituyen el segundo rubro de costos en un rango entre el 10% y el 15%. Según el NREL, el costo de capital amortizado para una planta de gran capacidad incrementa el costo del biodiesel producido en algo como US\$ 35 por tonelada de producto. Los costos del alcohol y del catalizador para el proceso responden por 2% hasta 3% (metanol). Otros costos, como energía eléctrica y calor, son pequeños.

La producción del biodiesel emplea energía eléctrica y calor de proceso. Aunque los costos de estas utilidades no sean significativos, deben ser tomados en cuenta en una evaluación económica detallada. NREL estima estos costos en alrededor de US\$ 20 por tonelada de biodiesel.

La mano de obra asociada a la producción del biodiesel es pequeña, pocos trabajadores y técnicos conducen la producción de grandes plantas de biodiesel. El peso de este rubro en los costos no es elevado.

Otros costos que deben ser considerados para análisis más detallados son manutención, seguros, transporte de materias primas y productos, mercadeo, manejo de desechos, etc.

Las plantas integradas de producción de biodiesel pueden ser muy convenientes cuando la escala de producción es grande y existen oleaginosas disponibles con facilidad. Las instalaciones de extracción de aceite y de producción de biodiesel pueden compartir instalaciones, el procesamiento del aceite no tiene que ser tan completo como para fines alimenticios y toda la logística de transporte y almacenamiento es menor.

En los casos de plantas integradas, los costos de extracción de aceite deben ser calculadas; según el CEPEA (2005), los costos típicos de extracción de aceite son de US\$ 10 por tonelada de granos de soya, US\$ 18 por tonelada de semillas de algodón, US\$ 14 por tonelada de semillas de girasol, US\$ 20 por tonelada de granos de maní, US\$ 48 por tonelada de semillas de higüerillo (estimado) y de US\$ 48 por tonelada de frutos de palma (estimado). La Fedepalma (2004) de Colombia presenta datos reales de costos de extracción de aceite de palma que varían entre US\$ 31 y US\$ 40 por tonelada de frutos. Datos de India indican un costo de extracción para la *Jatropha* alrededor de US\$ 52 por tonelada de aceite producido.

Estimaciones de costos operacionales totales para la etapa de transesterificación (sin los costos de aceites) realizadas por CEPEA (2005) para condiciones de Brasil indican costos totales (por tonelada de biodiesel producido) en el rango de US\$ 54 a US\$ 111, con los menores valores para plantas de mayor capacidad y los mayores valores para plantas pequeñas (efecto de escala). Estimaciones realizadas en India ponen los costos de operación de la planta de biodiesel (sin costos de materias primas) en US\$ 148 por tonelada de biodiesel producido.

f) La formación del costo de la etapa de transesterificación en detalle

Los costos de la etapa industrial de transesterificación fueron evaluados por Fortenbery (2005) para condiciones de los Estados Unidos usando como materia prima el aceite de soya a

precios de mercado. Los resultados se presentan en el cuadro 31. Cada rubro de costo fue detallado en el trabajo citado y las hipótesis empleadas fueron explicadas. La planta analizada tenía capacidad para 100.000 toneladas de biodiesel por año. Es importante observar que el costo final no es afectado por posibles créditos de venta de subproductos.

Cuadro 31

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Costos de producción	US\$ / galón	US\$ / tonelada
Metanol	0,1176	35,303
Catalizador NaOH	0,0320	9,606
Utilidades (agua, vapor, electricidad)	0,0552	16,571
Mano de obra (16 personas)	0,0600	18,012
Manutención, seguros, etc.	0,0730	21,914
Depreciación del capital	0,0635	19,062
Transporte de materias primas	0,0480	14,409
Costos sin materias primas	0,4493	134,88
Materias primas	1,3600	408,27
Costo total	1,8093	543,15
Materias primas / total		75,2%

Fuente: Fortenbery, 2005

g) Reducciones de costos debidas a co-productos

Los subproductos del proceso de producción dependen del grado de integración de la planta. Para una planta industrial de biodiesel sin integración, el principal subproducto es la glicerina. En caso de que la planta sea integrada en las etapas industriales, además de la glicerina, la torta o harina producida en el proceso de extracción del aceite constituye un subproducto muy importante. Para casos de integración total los desechos agrícolas (racimos, ramas, hojas, cáscaras, etc.) también pueden ser valorados como abono natural, alimento para animales o servir para generación de energía para los procesos industriales. No existen precios de mercado para tales residuos agrícolas.

Cuando la planta incluye la extracción de aceite, la torta generada en este proceso puede ser comercializada para alimentación animal o humana, en particular si posee proteínas, como el caso de la soya. Los desechos de extracción de aceite pueden ser usados para fines energéticos o como abono, si no tienen mejor empleo.

Existen precios de mercado para las tortas o harinas producidas en la extracción de aceite de muchas especies. El caso más común es el de la soya donde la torta posee cotización en bolsas de mercancías (commodities). El cuadro 32 presenta los precios promedios de harinas de oleaginosas en el período de octubre de 2005 hasta septiembre de 2006. En Brasil, los precios locales de tortas y harinas de oleaginosas son marcados por los precios de la harina de soya. Para el segundo semestre del 2005 los precios de la torta de algodón estaban alrededor de US\$ 110, de maní en US\$ 145, de girasol en US\$ 125 y de soya en US\$ 200. Aunque no sean comercializadas las tortas de palma y de higüerillo se estimaban en US\$ 44 y US\$ 110 respectivamente (CEPEA, 2005).

Cuadro 32

PRECIOS INTERNACIONALES DE HARINAS DE OLEAGINOSAS
 Octubre 2005 - septiembre 2006

Harina	Local - condición	Precio máx. US\$ / ton	Precio min. US\$ / ton	Precio sep.2006 US\$ / ton
Harina soya	Chicago	217	202	217
Harina soya	Dalian China	295	277	295
Pellets soya	Róterdam	236	226	226
Pellets girasol	Róterdam	148	140	140
Harina canola	Róterdam	164	152	152
Pellets maíz	Róterdam	175	166	175

Fuente: Abiove, 2007

En el proceso de producción de biodiesel, el principal subproducto es la glicerina bruta. La composición de la fase de glicerina obtenida en la producción de biodiesel es muy variable y depende de características del proceso. El contenido de glicerina puede variar de 40% a 90%, con valores típicos de alrededor del 65%. La cantidad de agua puede variar desde 8% hasta 50%. El contenido de metanol debe ser menor que el 0,5% y el contenido de sales puede llegar hasta el 10%. Para bajos contenidos de glicerina o para contenidos de metanol elevados, la comercialización puede no ser posible.

Dependiendo del proceso de transesterificación y del tipo de separación de alcohol que se emplea, la glicerina puede ser comercializada o no. A partir de porcentajes de glicerina arriba del 80% y de la ausencia de metanol (< 0,5%), es posible comercializar este subproducto generando ingresos y reduciendo los costos del biodiesel. Instalaciones de gran capacidad en general poseen equipos para purificación de glicerina, para obtenerla en grados de contenido mejores hasta el grado farmacéutico (pureza > 99,7%) y lograr mercados y precios más convenientes.

La glicerina puede ser una solución o un problema, por un lado, los ingresos de comercialización de glicerina pueden ser importantes para bajar los costos de producción del biodiesel. Por otro lado, las inversiones para purificarla pueden ser elevadas y sus precios de mercado vienen bajando, en parte por causa del aumento de oferta que acompaña el aumento de producción de biodiesel en el mundo. Finalmente, si la glicerina es muy impura o no tiene mercado se convierte en un desecho no aprovechable que generará costos de manejo y no ingresos.

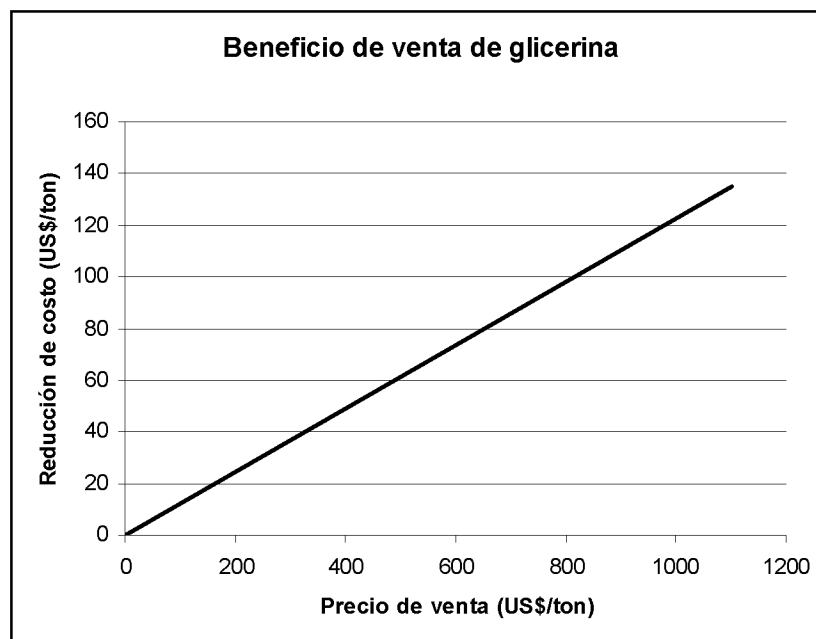
Los precios de la glicerina tienen una tendencia de baja en los últimos años, especialmente en Europa, que se atribuye a una mayor disponibilidad del producto asociada a los volúmenes de biodiesel producidos. La glicerina refinada tenía precios superiores a US\$ 1.500 por tonelada toda la década de los noventa, hasta 1997. Los precios entonces cayeron a un rango entre US\$ 1.100 y US 1.300 hasta el 2005, cuando cayeron una vez más (Maneely, 2006). Para el 7 de junio de 2006, los precios de la glicerina en los mercados de Asia-Pacífico estaban en el rango de US\$ 560 hasta US\$ 620 por tonelada, en el rango de US\$ 550 hasta US\$ 620 en Europa y en los Estados Unidos en el rango de US\$ 750 hasta US\$ 840. (ICIS, 2006).

Los ingresos obtenidos con la glicerina pueden reducir el costo final del biodiesel. Estimaciones hechas por Maneely (2006) están en la gráfico 5. Se debe notar que para los precios

actuales de la glicerina, de alrededor de US\$ 600 a US\$ 800 por tonelada, las reducciones de costo para el biodiesel están en el rango de US\$ 73/ton hasta US\$ 98/ton (es decir, de US\$ 0,064/litro hasta US\$ 0,086/litro).

Gráfico 5

REDUCCIÓN DE COSTO DEL BIODIESEL POR VENTA DE GLICERINA



Fuente: Elaboración propia.

h) El costo total de producción del biodiesel

Para evaluar el costo final del biodiesel es necesario definir cual es el tipo de instalación, integrada desde la etapa agrícola, integrada en la etapa industrial (extracción y transesterificación) o sin integración (el productor de biodiesel hace adquisiciones en el mercado de aceites y grasas).

Muchas estimaciones han sido presentadas por diversos autores. Tomando en cuenta un rendimiento del 40% de aceite por semilla y que el costo de extracción de aceite y producción de biodiesel es cerca del 20% del total, el costo de producción del biodiesel de higüerillo estaría alrededor de US\$ 625/ton (ó US\$ 0,55/litro), sin tomar en cuenta los beneficios de venta de subproductos (Macedo y Nogueira, 2004). Tomando el precio del mercado internacional del aceite de higüerillo (US\$ 741 / ton), el costo del biodiesel de higüerillo estaría cerca de de US\$ 926/ton (o US\$ 0,815/ litro).

Estimaciones del CEPEA (2005) para condiciones brasileñas y empleando por hipótesis el etanol condujeron a costos para el biodiesel de soya en el rango de US\$ 0,42 hasta US\$ 0,51 por litro, dependiendo de la región de producción de la soya. Para el biodiesel de girasol, entre US\$

0,37 y US\$ 0,47; para el biodiesel de palma un valor de US\$ 0,36; para el biodiesel de maní de US\$ 0,44; para el biodiesel de algodón de US\$ 0,39 y para el biodiesel de higüerillo de US\$ 0,63. Es importante resaltar que este estudio empleó datos de productividad agrícola reales y la productividad del higüerillo estaba muy baja.

Los valores presentados por el fabricante de equipos Dedini (homepage, 2007) indican el costo de producción del biodiesel de soya alrededor de US\$ 450 por tonelada con pequeñas variaciones en función de la capacidad de la planta y del origen de las materias primas como granos de soya (planta integrada industrialmente) o aceite de soya (planta de biodiesel). Los valores de costos de producción son siempre mayores para el segundo caso.

Tomando en cuenta los valores promedios ya presentados en este trabajo para costos de operación de los procesos de extracción y de transesterificación, los costos agrícolas de oleaginosas, sus precios de mercado, los precios de aceites, los precios de tortas y glicerina, así como el contenido de aceite en los granos o frutos, se estimaron los costos de producción para la soya, la palma y el higüerillo para los tres tipos de integración discutidas. El cuadro 33 presenta las hipótesis empleadas y el cuadro 34 los resultados obtenidos. Los costos presentados en el cuadro 34 son tan solo indicativos, pues los valores calculados pueden variar si las hipótesis empleadas cambian.

Cuadro 33

ESTIMACIONES DE COSTOS DE BIODIESEL – HIPÓTESIS.

Hipótesis	Soya	Palma	Higüerillo
Costo de granos – US\$/ton granos	230	55	200
Precio de granos – US\$/ton granos	258	--	248
Precio del aceite – US\$/ton aceite	580	450	800
Costo de extracción – US\$/ton aceite	12	35	48
Costo del proceso – US\$/ton biodiesel	170	166	200
Venta de torta – US\$/ton torta	220	11	40
Venta de glicerina – US\$/ ton glicerina	650	650	650

Fuente: valores ya presentados anteriormente.

Es necesario mencionar que, en el caso de la palma, no existe un mercado de frutos, por lo que si la empresa es integrada, su integración empieza en la etapa agrícola. Los productores independientes de palma trabajan bajo contratos y no existen opciones para la comercialización *spot* de los frutos de palma.

Los costos de producción de biodiesel de soya son muy afectados por los precios relativos de la soya en grano, y de su torta y aceite. Existen situaciones de precios de mercado donde instalaciones no integradas pueden operar con menor costo total a pesar de adquirir el aceite en grado comercial.

Existen otras variables que afectan los costos de producción. El uso parcial de la capacidad productiva aumenta los costos. Según S&T² (2005), la operación a 80% de la capacidad incrementa el costo de producción en un 9% del valor nominal. Cuanto menor sea el uso, este efecto se vuelve

más importante. Los precios de los subproductos también afectan los costos del biodiesel como ya fue mostrado en el gráfico 5 en el caso de la glicerina. Para plantas integradas, el valor de mercado de las tortas es de fundamental importancia para ayudar a reducir costos.

Cuadro 34

ESTIMACIONES DE COSTOS DE BIODIESEL – RESULTADOS
(US\$/ton biodiesel)

Soya – Costos	Int. agrícola	Int. industrial	Aislada
Materias primas	1 140,40	1 279,23	591,84
Extracción de aceite	74,37	74,37	0,00
Costos del proceso	150,00	150,00	150,00
Total de costos	1 364,77	1 503,60	741,84
Ventas – Torta	823,01	823,01	0,00
Glicerina	65,00	65,00	65,00
Total de ventas	888,01	888,01	65,00
Costo final total	476,76	615,59	676,84
Higüerillo – Costos	Int. agrícola	Int. industrial	Aislada
Materias primas	462,77	573,83	816,33
Extracción de aceite	111,06	111,06	0,00
Costos del proceso	200,00	200,00	200,00
Total de costos	773,83	884,90	1 016,33
Ventas – Torta	128,05	128,05	0,00
Glicerina	65,00	65,00	65,00
Total de ventas	193,05	193,05	65,00
Costo final total	580,78	691,85	951,33
Palma – Costos	Int. agrícola	No se aplica	Aislada
Materias primas	260,31		459,18
Extracción de aceite	165,65		0,00
Costos del proceso	166,00		166,00
Total de costos	591,96		625,18
Ventas – Torta	36,75		0,00
Glicerina	65,00		65,00
Total de ventas	101,75		65,00
Costo final total	490,21		560,18

Fuente: Elaboración propia.

3. Formación de precios para el biodiesel: costos, márgenes y tasas

La formación de precios para el biodiesel depende del costo de producción, del margen esperado por el productor de biodiesel, de los márgenes comerciales de almacenamiento, transporte, distribución y venta al detalle y de las tasas o impuestos que se aplican al producto. Como el biodiesel se destina a sustituir al diesel, es común que se le apliquen las tasas de hidrocarburos y/o impuestos del tipo IVA. En general, países que tienen políticas de incentivos al biodiesel hacen exenciones parciales o totales de impuestos y tasas con tal de viabilizar la penetración de este nuevo producto. Cuando los impuestos sobre los hidrocarburos son elevados, mayor es la capacidad de incentivo del gobierno. En el cuadro 35 se muestran los tributos sobre el diesel de petróleo en varios países y las exenciones parciales o totales aplicadas.

En el caso de Brasil, las exenciones de impuestos federales varían de acuerdo con la región del país, con las oleaginosas empleadas y con el tipo de producción (extensiva o familiar). La exención total ocurre para producción de palma o higüerillo en producción familiar (pequeño productor) en la región Norte o Nordeste (R\$ 0,218 – ó US\$ 0,104 por litro). Para agricultura familiar, en otras regiones y para cualquier siembra oleaginosa, la exención es de R\$ 0,148 (US\$ 0,070) por litro. Para producción de palma o higüerillo en producción extensiva, la exención es de R\$ 0,067 (US\$ 0,032) por litro. Para otras condiciones no existen exenciones.

Cuadro 35

IMPUESTOS SOBRE EL DIESEL Y EXENCIONES VIGENTES PARA EL BIODIESEL

País	Impuestos o tasas para diesel	Exenciones para biodiesel	Impuestos o tasas para biodiesel
	US\$ / litro	US\$ / litro	US\$ / litro
Reino Unido	0,825	0,350	0,475
Alemania	0,567	0,452	0,115
Italia	0,498	0,498	0,000
Francia	0,503	0,426	0,077
Brasil	0,104	0,104 ^a	0,000
USA	0,121	0,121	0,000

Fuente: Elaboración propia.

a/ Máxima exención.

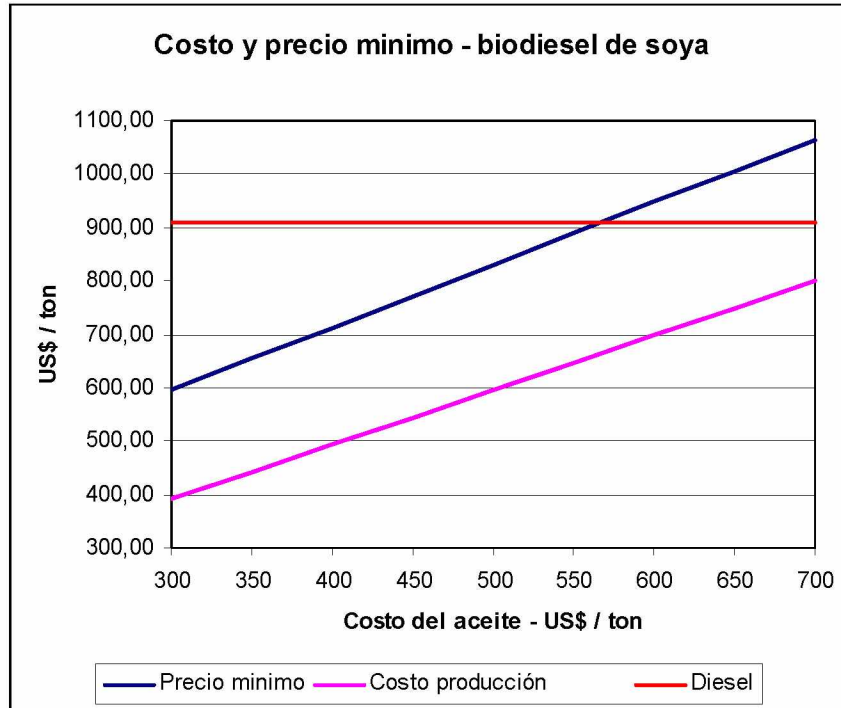
Para mostrar cómo los precios de las materias primas influyen sobre los costos de producción y, por lo tanto, los precios mínimos de venta, se presentan simulaciones para el caso de la soya, mostrados en los gráficos 6 y 7.

Las hipótesis empleadas para la determinación de los costos y precios mínimos son: costos de extracción de aceite y del proceso de transesterificación (sin materias primas) constantes, valor de mercado de harina de soya a US\$ 10 sobre el costo agrícola y valor de mercado de glicerina constante a US\$ 650. La diferencia entre el costo de producción y el llamado precio mínimo toma en cuenta el margen de la industria, fijo en 15% sobre el costo de producción y los márgenes de comercialización, fijos en dólares y equivalentes a los márgenes usuales en el mercado de distribución y comercialización al detalle del diesel de petróleo. No se consideran tributos, es decir, las exenciones son totales.

En el gráfico 6 se indican los costos de producción de una planta de biodiesel aislada que compra su materia prima (aceite vegetal) en el mercado. El precio al consumidor del diesel (valores para Brasil) es el límite para el precio mínimo para que el nuevo producto no sea más costoso para el consumidor. En el caso del gráfico 6, el precio límite para la adquisición del aceite de soya es alrededor de US\$ 550 por tonelada. Cabe señalar que los impuestos y tasas colocan la línea de precio mínimo aún más elevada y entonces el valor límite para el aceite de soya es más bajo.

Gráfico 6

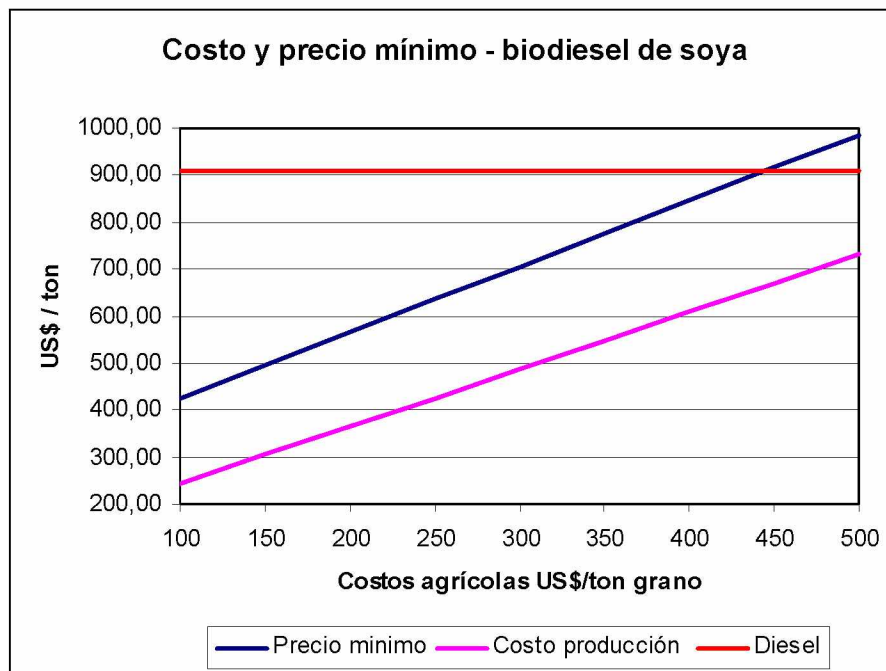
INFLUENCIA DEL COSTO DEL ACEITE SOBRE LA VIABILIDAD DEL BIODIESEL



Fuente: Elaboración propia, datos Brasil.

Gráfico 7

INFLUENCIA DE COSTOS AGRÍCOLAS SOBRE LA VIABILIDAD DEL BIODIESEL



Fuente: Elaboración propia, datos Brasil.

Para verificar qué ocurre con los costos de producción y los precios mínimos para el biodiesel cuando la planta productora es completamente integrada, es decir, cuando la materia prima es afectada por los costos agrícolas se simuló la variación de costos agrícolas para obtención de la soya en grano en el rango de US\$ 100 hasta US\$ 500 dólares. Como se ve en el gráfico 7, el costo máximo para la producción agrícola de soya está alrededor de los US\$ 450. Si hay impuestos o tasas, el costo agrícola en que el precio mínimo del biodiesel encuentra el precio de mercado del diesel será menor.

Lo gráficos 6 y 7 son solamente ilustrativos. En realidad, unas cuantas variaciones de costos o precios de venta pueden hacer que la planta produzca un resultado económico neto positivo o negativo. En el trabajo de Booth y otros. (2005), un estudio de sensibilidad de la viabilidad económica para una planta de biodiesel empleando colza como materia prima mostró que la rentabilidad es fuertemente afectada por el precio que se obtiene con la venta del biodiesel y con el precio de la materia prima. La evaluación empleó los conceptos de valor actual neto (NPV en inglés), de tasa interna de retorno (IRR en inglés) y tiempo de recuperación de la inversión (*Pay-back*). El tiempo de vida del proyecto fue de 10 años y la tasa de interés adoptada fue de 8% al año. Cuando el precio de venta del biodiesel varía de US\$ 0,683 por litro hasta US\$ 0,753 por litro (alrededor de 10%), los parámetros de rentabilidad varían mucho más: de un NPV negativo a otro positivo y alto, de una tasa interna de retorno de 2,9% para 23,5% y de un *pay back* de 8 años para otro de 4 años. El efecto del precio del aceite empleado (colza y reciclado) es similar: cuando el precio del aceite varía de US\$ 290 hasta US\$ 237 hasta (alrededor de 22%), el NPV pasa de negativo a positivo, la IRR cambia de 2,9% a 30,3% y el *pay back* cambia de 6 para 4 años.

a) Precios de biodiesel: Alemania y Estados Unidos

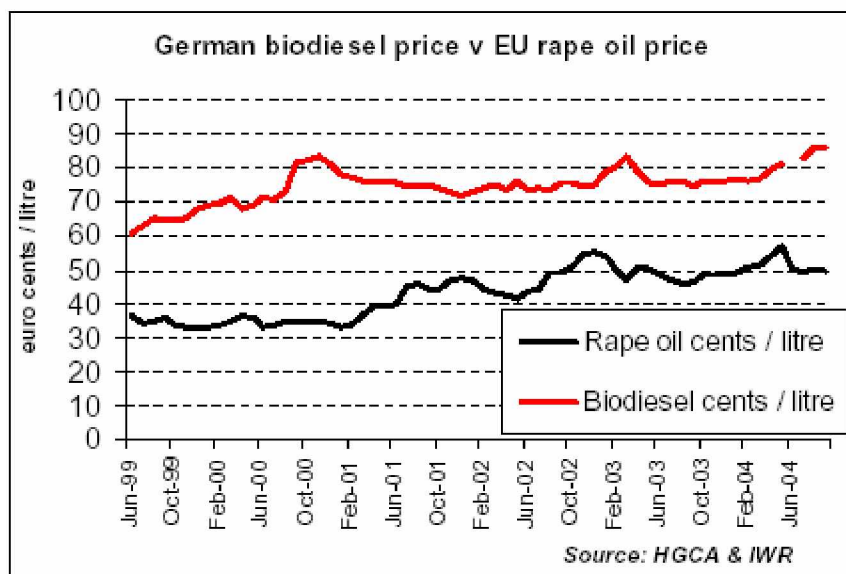
El gráfico 8 muestra los precios del biodiesel y del aceite de colza en Alemania, en centavos de Euro, desde 1999 hasta 2005. Como el país tenía exenciones totales de tasas en ese período, el consumo de biodiesel creció de forma vigorosa como se mostró en el capítulo II. A pesar de tendencias similares, la correlación entre los precios de biodiesel y de aceite de colza no es tan buena. Esto ocurre porque el precio del biodiesel no es determinado por sus costos, sino por el precio del diesel de petróleo, como se puede comprobar a través del gráfico 9.

Los precios del biodiesel variaron entre € 0,60 y € 0,86 (US\$ 0,768 y US\$ 1.101) por litro. Cabe resaltar que el diesel de petróleo estuvo siempre a precios aún más elevados.

En los Estados Unidos, los precios del biodiesel varían de estado en estado, en función de las diferentes políticas estatales de incentivo (o no) para el producto. El Energy Management Institute publica semanalmente los precios de combustibles alternativos (no necesariamente renovables) de acuerdo con las definiciones de la Environment Protection Agency (EPA): el Alternative Fuels Index. El 8 de marzo de 2007 (AFI, 2007) los precios de biodiesel sin impuestos oscilaban en el rango de US\$ 2,72 hasta US\$ US\$ 3,38 por galón (de US\$ 0,7185 hasta US\$ 0,8929 por litro). El valor promedio estaba en US\$ 3,1166 por galón (US\$ 0,8233 por litro). Para comparación, el costo del diesel de petróleo promedio sin tasas estaba en US\$ 2,0992 por galón (US\$ 0,5546). Con las tasas, el diesel llegaba alrededor de US\$ 0,72 por litro, es decir, en los Estados Unidos el biodiesel es aún más costoso que el diesel de petróleo.

Gráfico 8

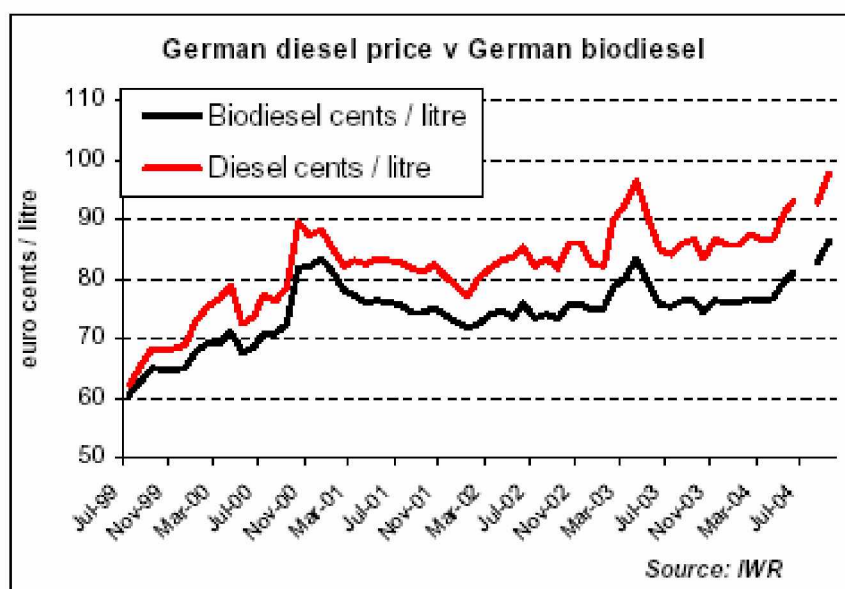
PRECIOS DE ACEITE DE COLZA Y DE BIODIESEL EN ALEMANIA



Fuente: IWR Internacional Wirtschaftsforum Regenerative Energies, www.iwr.de/biodiesel

Gráfico 9

PRECIOS DE DIESEL Y DE BIODIESEL EN ALEMANIA



Fuente: IWR Internacional Wirtschaftsforum Regenerative Energies, www.iwr.de/biodiesel

b) Mecanismos de compensación o de obligatoriedad

Al inicio de los años noventa en Europa, cuando la industria del biodiesel comenzaba a ser instalada, los precios de los contratos de la colza para fabricación del biodiesel eran mucho menores que los precios de colza usada para alimentación. Como la colza para fines no-alimenticios era producida en las tierras de *set-aside* y los agricultores no tenían mejores opciones, los contratos eran muy diversos de la producción para alimentos y a menores costos. A medida que la capacidad de producción y el consumo del biodiesel aumentaron, los precios de la colza para fines industriales (incluyendo biodiesel) y para alimentación se aproximaron. En 1996, la proporción de biodiesel producido en Alemania por colza producida en tierras del *set-aside* frente a áreas de siembra normales era de 98:2; en el año 2005, la proporción ya cambió para 30:70, es decir, actualmente la mayor parte de la colza para biodiesel proviene de áreas de siembra normales y no de áreas de *set-aside* (Gärtner, 2005).

En Europa se acepta que la industria de biodiesel no sea capaz de producir ganancias sin apoyos fiscales. Como el biodiesel es parte del esfuerzo para cumplir las metas de reducción de emisiones de dióxido de carbón, los gobiernos desarrollan políticas de exenciones fiscales como forma de incentivo al consumo de biodiesel. Además, la colza y el biodiesel tienen importancia también como política de protección para los agricultores.

En los Estados Unidos, el Departamento de Agricultura (USDA) ofreció un crédito para los inversionistas en biodiesel para mejorar las condiciones de viabilidad de los proyectos. Existen pagos de US\$ 1,45 por galón de biodiesel de soya producido sobre la producción del año anterior (incentivo al aumento de producción). Recientemente, el gobierno del Presidente Bush instituyó un subsidio de US\$ 1 por galón de biodiesel producido de aceite vegetal y de US\$ 0,50 por galón de biodiesel producido por aceite reciclado.

Como se ha mostrado, Brasil posee una política para el biodiesel donde las exenciones fiscales son selectivas y dependen de la región del país, de las oleaginosas escogidas como prioridad para la producción del biodiesel y de la organización de la producción agrícola. Sobre todos los productos comercializados, los estados de Brasil aplican un impuesto similar al IVA y que puede variar en cada Estado. Por ejemplo, para el diesel un estado usa un impuesto de 12% y otro estado un impuesto de 25%. La cuestión de los impuestos federales ya fue resuelta pero no para los Estados.

Otra forma de incentivo a la introducción del biodiesel en las matrices energéticas es la concesión de préstamos con largos plazos de carencia y a tasas anuales bajas. Esto ayuda a hacer viables las inversiones de capital necesarias.

Decisiones de carácter político también pueden ayudar a la adopción del biodiesel. Como ejemplo, se puede mencionar la decisión de la Comisión Europea de poner metas de uso de combustibles de fuentes renovables en los transporte para los años 2005 (2%) y 2010 (5,75%). La sustitución de parte del consumo de las gasolinas debe ocurrir con el uso de bioetanol en mezclas con gasolina (o de ETBE – Etil-tercio-butil éter, un éter producido a partir del bioetanol). Para los motores diesel, la sustitución debe ocurrir a partir del biodiesel o aún del uso de aceites vegetales sin modificación en motores convertidos. En la Unión Europea existen permisos para uso de hasta el 5% de biodiesel en mezcla con diesel sin necesidad de un sistema de distribución

específico (como en Alemania) y sin necesidad de alerta a los consumidores. Aun así, la adición de biodiesel al diesel de petróleo no es obligatoria.

En los Estados Unidos existe obligatoriedad para uso de combustibles alternativos (definidos por la EPA) en el caso de flotas y vehículos de administración pública en todos los niveles, federal, estatal o municipal. En el caso de biodiesel, el contenido del producto en la mezcla con diesel debe ser de 20% o más para poder cumplir la determinación de obligatoriedad. De esta forma, sólo las flotas cautivas¹ emplean el biodiesel en cantidades significativas.

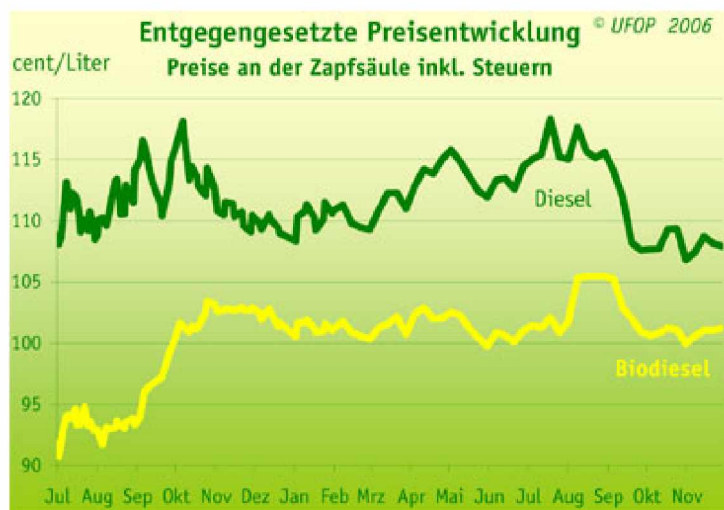
Brasil adoptó una condición de obligatoriedad para la adición de biodiesel en el diesel en mezcla de 2% (B2) a partir de enero de 2008. La proporción de biodiesel subirá a 5% en el 2013. La definición de trabajar con el concepto de obligatoriedad es similar al que ya existe hace muchos años para la gasolina, donde se mezcla etanol anhidro (entre 20% y 25%, dependiendo de la disponibilidad del bioetanol).

4. Comparación: precios de petróleo, diesel y de biodiesel

En países donde hay impuestos elevados y existen exenciones de tasas, los precios finales del biodiesel al consumidor pueden ser más bajos que del diesel, como sucede en Alemania y podría ocurrir en otros países de la Unión Europea como en el Reino Unido y en Holanda en caso de que las exenciones fiscales fuesen totales. El gráfico 9 mostró que en Alemania el biodiesel siempre es menos caro que el diesel (precios de 1999 hasta 2005). El gráfico 10 muestra lo mismo para los años 2005 y 2006.

Gráfico 10

PRECIOS DE DIESEL Y BIODIESEL EN ALEMANIA, 2006



Fuente: Unión Zur Förderung von Oel-und Proteinpflanzene. V. (UFOP) Berlin.

¹ Flotas de vehículos usados para fines específicos, como autobuses de uso urbano, vehículos de colecta de basura, etc., siempre de una sola empresa, que recibe el biodiesel de forma independiente de las estaciones de servicio.

El precio del diesel es un factor determinante para viabilizar el biodiesel. Como los costos de producción del producto son elevados, cuanto más elevado es el precio del diesel, más viable es el del biodiesel. Los precios del diesel son condicionados por márgenes comerciales, tributos y costos de producción. Así, el precio del petróleo en los mercados internacionales puede ser tomado como indicador para la viabilidad económica del biodiesel.

Woods y Bauen (2003) analizaron cómo el precio del barril de petróleo influía en la viabilidad económica del biodiesel. Los resultados obtenidos en aquel estudio se muestran en el cuadro 36. El costo adicional del biodiesel reportado en el cuadro se definió como la diferencia entre el costo de producción de biodiesel y el costo de producción del diesel de petróleo, es decir, los valores reportados informan cuánto más cuesta el biodiesel en relación a los costos de producción del diesel.

Cuadro 36

COSTO ADICIONAL DEL BIODIESEL Y PRECIOS DE PETRÓLEO

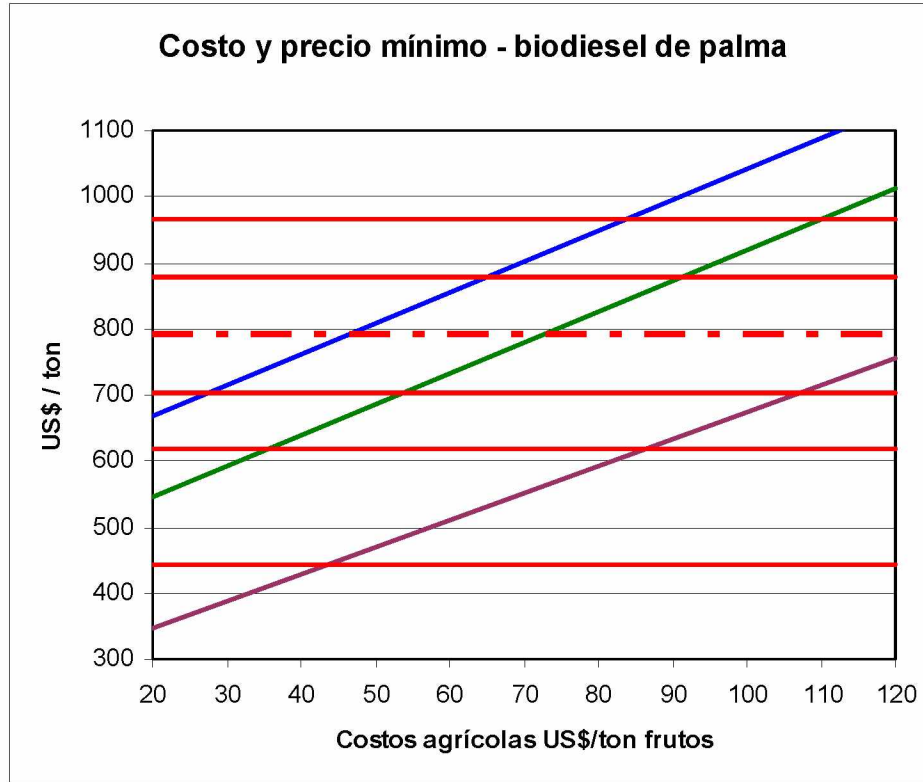
Precio del petróleo – Brent US\$ / barril	Costo adicional del biodiesel US\$ /litro
20	0,448
25	0,384
30	0,320
35	0,256

Fuente: Woods & Bauen, 2003.

Empleando las mismas hipótesis y el mismo método usado para construir los gráficos 6 y 7, se presenta en el gráfico 11, el costo de producción, el precio mínimo sin impuestos y el precio mínimo con impuestos para el biodiesel de palma producido de forma integrada. Los diversos precios de diesel incluidos corresponden a diferentes precios del petróleo y permiten determinar cómo el precio del petróleo puede viabilizar o no la producción de biodiesel. Las tres líneas inclinadas corresponden a costo, precio sin impuestos y precios con impuestos. Las líneas horizontales corresponden al precio del diesel al consumidor para precios de petróleo de US\$ 20, US\$ 40, US\$ 50, US\$ 60, US\$ 70 y US\$ 80 por barril. Los precios actuales del petróleo están alrededor de US\$ 60 por barril (línea roja quebrada). Para estos precios de petróleo, el biodiesel de palma debería tener un costo agrícola máximo de alrededor de US\$ 45 por tonelada de frutos para poder pagar todos los tributos e igualar el precio con el diesel. Si existen exenciones totales de impuestos, el costo agrícola máximo sería alrededor de US\$ 73 por tonelada de frutos. Como límite, el mayor costo de producción es alrededor de US\$ 125 /ton (fuera del gráfico) sin ningún margen comercial para distribución o de retorno para el productor.

Gráfico 11

COSTO Y PRECIOS DE BIODIESEL DE PALMA Y PRECIOS DEL PETRÓLEO



Fuente: Elaboración propia. Datos Brasil.

Las comparaciones entre precios de biodiesel y precios de mercado del diesel para los países de Centroamérica estudiados son presentadas en los siguientes capítulos.

IV. PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN COSTA RICA

Este capítulo presenta las condiciones actuales de Costa Rica en relación a la penetración del biodiesel en su matriz energética. Se muestran datos socio-económicos, agrícolas y de producción de posibles materias primas para el biodiesel, y se explican y discuten las barreras actuales. Todas estas condiciones son evaluadas y se analizan escenarios de introducción de este combustible renovable en el mercado de hidrocarburos en sustitución al diesel de petróleo.

1. Características socioeconómicas del país

El cuadro 37 muestra los indicadores socio-económicos de Costa Rica. El país posee alrededor de 4,3 millones de habitantes, con una población urbana bastante mayor que la rural y con un PIB per cápita razonable para los padrones de América Latina. Los índices de pobreza y el porcentaje de personas que viven con ingresos de menos de dos dólares por día también son relativamente bajos. El porcentual de los gastos públicos sociales frente al PIB también es razonable.

Con respecto a disponibilidad de área, Costa Rica posee una proporción alta de bosques y forestas (46,8%), que constituyen principalmente áreas de protección ambiental. Aunque esto limita la capacidad de expansión de la agricultura, proporciona excepcionales condiciones de exploración del turismo ecológico, actividad económica importante del país. La densidad de población por hectárea está en un rango intermedio (0,85 personas / ha).

Las áreas actuales de cosecha permanente y arable son pequeñas, pero existen muchas áreas de ganadería con pequeña densidad de ganado bovino (0,74 cabezas por hectárea), que pueden permitir expansiones de áreas agrícolas, en caso de que sea necesario y oportuno.

El país todavía tiene un balance comercial total deficitario con tendencia creciente. El saldo de su deuda externa también es creciente en términos absolutos y porcentuales del PIB como se aprecia en el cuadro 38.

Cuadro 37

COSTA RICA: INDICADORES SOCIOECONOMICOS Y DE USO DE TIERRAS

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Población 1000 personas	3 925	4 008	4 089	4 167	4 245	4 322
PIB per capita	4 062	4 021	4 055	4 234	4 329	4 504
Población urbana %	58,7	ND	ND	ND	ND	62,6
Población rural %	41,3	ND	ND	ND	ND	37,4
%pobreza - nacional	ND	ND	20,3	ND	20,5	21,1
% pobreza - rural	ND	ND	24,3	ND	23,1	22,7
% población < 2 US\$/día	9,45	8,18	ND	ND	ND	ND
Gasto público % PIB	17,3	18,7	18,7	18,6	18,1	ND
Superficie terrestre - 1000 ha	5 106	5 106	5 106	5 106	5 106	5 106
personas / ha	0,77	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85
Superficie agropecuaria - 1000 ha	2 865	2 865	2 865	2 865	2 865	2 865
Superficie arable - 1000 ha	225	225	225	225	225	225
Área cosecha permanente - 1000 ha	300	300	300	300	300	300
Área ganadera - 1000 ha	2 340	2 340	2 340	2 340	2 340	2 340
Bovinos 1000 cabezas	1679	1672	1678	1699	1717	1739
cabezas / ha	0,72	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74
Área de bosques - 1000 ha	2 376	ND	ND	ND	ND	2 391
Proporción de bosques	46,5	ND	ND	ND	ND	46,8

Fuente: CEPALSTAT: Siagro y Badeinso.

Cuadro 38

COSTA RICA: BALANCE COMERCIAL TOTAL Y DEUDA EXTERNA

Deuda externa	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	1565,7	1 721,5	1 951,1	2 181,7	2 401,3	2 367,4
(% PIB)	10,1	10,9	12,2	13,1	13,5	12,3
Balance Comercial Total	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	468,4	-74,5	-592,5	-313	-563,9	1 001,9

Fuente: CEPALSTAT

2. Características agrícolas del país

a) El uso agrícola de las tierras

El cuadro 39 muestra la distribución del uso de áreas para las cosechas que emplean mayores extensiones de tierras. Las cosechas de arroz y parte de la producción de caña y yuca tienen uso local mientras que el café, la palma africana, los bananos, la piña y parte de la producción de naranjas son principalmente de exportación. La producción de palma africana,

caña de azúcar y yuca pueden tener interés para la producción de biocombustibles: la palma para el biodiesel y las otras para el etanol anhidro para mezclas con gasolina.

El MAG identifica que están en curso algunos cambios de siembras como la reducción de área de cultivo de bananos y de arroz y el aumento en área de caña de azúcar y de palma africana. La reducción de área de arroz y de bananos está relacionada con la disminución de atractivos para estos dos cultivos.

Cuadro 39

COSTA RICA: MAYORES EXTENSIONES DE TIERRAS PARA COSECHAS
(Miles de hectáreas)

Cosecha	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Café	106,0	113,1	113,4	113,4	113,4	113,4
Arroz	68,4	57,0	47,9	54,0	62,1	53,9
Caña de azúcar	47,2	48,0	48,0	49,0	49,3	49,2
Palma africana	39,8	39,8	42,5	43,2	46,6	48,6
Bananos	48,0	44,4	42,2	41,8	42,3	41,1
Piña	12,5	13,0	15,5	16,4	18,0	26,8
Naranjas	25,3	26,0	26,0	27,0	25,0	26,0
Yuca	5,8	9,6	8,8	7,4	7,0	15,7

Fuente: Vega, 2007.

b) Producción, importación y consumo aparente de alimentos básicos

La producción local de los principales granos para alimentación y los principales productos tradicionales de exportación se encuentran en el cuadro 40, que muestra la producción de palma africana, la única oleaginosa producida en cantidad en el país. La productividad observada de cada cultivo está indicada en toneladas por hectárea. Otros productos importantes de exportación, como piña, melones, otras frutas, flores y plantas ornamentales no están indicados en este cuadro.

La producción local no es capaz de atender toda la demanda de granos. En el caso del trigo, no hay producción. El cuadro 41 presenta la evolución de importaciones de granos y carne, indicando los volúmenes importados, el precio promedio efectivo en la importación y el precio promedio internacional FOB Golfo (EUA). Es de notar que los precios efectivos promedios obtenidos pueden estar por arriba o abajo de los precios internacionales, debido a factores coyunturales o estacionales, y de sobrepuestos por flete.

Cuadro 40

COSTA RICA: PRODUCCION AGRICOLA DE GRANOS Y PRODUCTOS DE EXPORTACION

Producción agrícola	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Miles de toneladas)						
Arroz	271,7	226,5	190,4	214,8	247,0	214,4
ton / ha	3,97	3,97	3,97	3,97	4,35	4,17
Fríjol	16,2	15,4	12,7	15,1	10,5	10,1
ton / ha	0,53	0,66	0,57	0,72	0,63	0,68
Maíz	18,5	12,8	11,6	14,6	12,7	13,2
ton / ha	1,81	1,66	1,71	1,73	1,95	1,83
Banano	1 887,1	1 741,81	1 622,6	1 901,3	1 792,5	1 608,1
ton / ha	39,33	39,21	38,47	45,53	45,33	39,94
Café	161,4	150,29	140,87	132,26	96,8	124,3
ton / ha	1,52	1,33	1,25	1,17	0,86	1,1
Caña de Azúcar	3 398,28	3 472,12	3 462,33	3 959,19	3 804,65	3 595
ton / ha	72	72,34	72,13	80,8	77,29	74,28
Palma Africana	609,12	666,08	571,2	581	670	780
ton / ha	15,31	16,74	13,45	13,45	14,38	ND

Fuente: CEPALSTAT – Siagro.

Cuadro 41

COSTARICA: IMPORTACIONES AGRICOLAS

Importaciones agrícolas	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Miles de toneladas)						
Arroz	44 604	53 742	100 069	159 466	166 016	173 764
efectivo US\$ / ton	249,4	257,75	133,52	138,48	252,38	220
Internac.* US\$ / ton	265,8	205,8	222,4	248,8	270	308,6
Fríjol	27 132	17 236	28 048	26 914	34 274	44 941
efectivo US\$ / ton	549,87	761,43	570,58	544,28	568,68	588,55
Internac.* US\$ / ton	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Maíz	455 582	508 507	520 571	544 323	540 178	592 277
efectivo US\$ / ton	111,54	109,43	115,65	127,05	169,28	130,19
Internac.* US\$ / ton	72	74,25	82,43	ND	ND	ND
Trigo	239 756	209 113	203 458	214 671	199 179	189 332
efectivo US\$ / ton	169,13	175,26	180,32	197,17	212,44	209,64
Internac.* US\$ / ton	114	126,8	148,5	146,1	156,9	152,4
Carne	1 301	2,608	6 166	1,984	1 607	1 942
Internac.* US\$ / ton	1 932	2124	2 119	2129	2 508	2 611

Fuente: CEPALSTAT – Siagro *FOB Golfo

Sin embargo, la tendencia que se puede observar es de un incremento de las importaciones de los granos más importantes para alimentación humana, con excepción del trigo, que no se produce en Costa Rica y es importado al 100%. Como el arroz, el frijol y el maíz son cultivos

tradicionales en Costa Rica, esto puede indicar una tendencia de abandono de estos cultivos a cambio de otros que traen mayores ingresos.

Estas observaciones se pueden confirmar por medio del cuadro 42. El consumo aparente de cada producto es obtenido a través de la suma de los volúmenes de producción local con los provenientes de importación, y la resta de las exportaciones. Se muestra también en el mismo cuadro el grado de dependencia de importaciones para cada producto así como la producción neta per cápita y el consumo promedio por persona. El grado de dependencia para el arroz creció mucho en los años más recientes; para el frijol y maíz, la dependencia es muy elevada.

Cuadro 42

COSTA RICA: CONSUMO APARENTE Y GRADO DE DEPENDENCIA DE IMPORTACIONES

Consumo aparente de granos básicos y carne bovina						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz limpio						
Consumo aparente - 1000 ton	216,89	189,62	219,88	296,24	327,85	321,75
Grado de dependencia - %	20,56	28,34	45,51	53,83	50,64	54,01
Producción neta per cápita - kg/año	45,22	36,97	30,48	33,74	39,33	35,34
Consumo por habitante - kg/año	55,25	47,39	53,9	71,23	77,33	74,45
Frijol						
Consumo aparente - 1000 ton	41,15		39,15	40,22	42,77	53,84
Grado de dependencia - %	65,94	55,95	71,63	66,91	80,13	83,47
Producción neta per cápita - kg/año	3,72	3,47	2,8	3,26	2,16	2,19
Consumo por habitante - kg/año	10,48	7,7	9,6	9,67	10,09	12,46
Maíz						
Consumo aparente - 1000 ton	469,49	518,71	529,85	556	550,34	602,92
Grado de dependencia - %	97,04	98,03	98,25	97,9	98,15	98,23
Producción neta per cápita - kg/año	3,77	2,55	2,27	2,82	2,4	2,46
Consumo por habitante - kg/año	119,61	129,62	129,88	133,7	129,81	139,51
Trigo						
Consumo aparente - 1000 ton	239,75	209,11	203,46	214,67	199,18	189,33
Grado de dependencia - %	100	100	100	100	100	100
Consumo por habitante - kg/año	61 079	52 257	49 875	51,62	46 982	43 808
Carne bovina						
Consumo aparente - 1000 ton	68,9	64,8	62,6	63,8	66,1	66,5
Producción neta per cápita - kg/año	20,96	18,58	16,75	17,82	17,72	17,8
Consumo por habitante - kg/año	17,55	16,19	15,34	15,33	15,6	14,92

Fuente: CEPALSTAT – Siagro

Para la carne, la producción local es mayor que el consumo aparente, es decir, existe una exportación neta de este producto. En general, las importaciones son de cortes especiales y las exportaciones son de todo tipo.

Las preocupaciones de la autosuficiencia alimenticia del país ya fueron externadas (Arias, 2005). Los países desarrollados poseen especial cuidado con la autosuficiencia de oferta de alimentos, por ejemplo en los EUA, más del 80% de todo lo que se consume es producido en el

país; Europa es similar, aunque para ello sea necesario promover políticas agrícolas proteccionistas. A nivel mundial, alrededor del 90% de los alimentos básicos son producidos localmente. La dependencia de Costa Rica a importaciones para el abastecimiento de alimentos básicos puede tornarse una vulnerabilidad en un cuadro de eventual escasez.

El consumo aparente per capita de los productos presentados en el cuadro 42 es dependiente de la disponibilidad y de factores culturales, a pesar de ser descrito como “maíz”, el maíz blanco es el que se usa para alimentación humana y el maíz amarillo para preparaciones alimenticias o para alimentación animal. Por motivos culturales, en Costa Rica el consumo de maíz es menor que el de otros países de América Central: el arroz y el frijol son proporcionalmente más consumidos que en los demás países.

c) Productos exportados de cobertura agropecuaria

Los principales productos agropecuarios de exportación (en volumen - toneladas) están mostrados en el cuadro 43.

Cuadro 43

PRINCIPALES EXPORTACIONES AGROPECUARIAS (Toneladas)

Exportaciones - 1000 ton	2000	2001	2002	2003	2004
Banano	2 079,30	1 954,61	1 784,07	2 056,81	2 065,47
Piña	322,62	386,20	458,27	556,04	701,22
Melón	176,95	190,92	188,95	222,77	226,73
Azúcar	139,15	147,80	135,31	103,51	206,67
Aceite de palma	96,55	79,10	83,17	107,32	171,92
Café Oro	132,81	127,45	117,23	143,70	125,86
Alcohol etílico	48,16	77,37	33,43	41,49	89,83
Purés y pastas de frutas	61,75	78,52	69,40	72,00	80,69
Yuca	58,62	63,77	66,73	77,48	78,23
Plantas ornamentales	38,75	41,91	43,87	52,06	52,65
Salsas y preparaciones	13,00	13,81	14,71	17,11	40,97
Follajes, hojas y demás	27,95	29,67	29,07	31,89	31,27
Productos panadería	17,91	23,27	23,41	23,75	23,69
Otras preparaciones	8,71	9,48	15,25	15,63	16,46
Palmito	15,22	14,27	13,52	13,45	13,25
Pescado fresco	13,53	20,66	20,90	17,94	12,52
Jugo concentrado	28,45	22,81	22,45	22,78	12,36
Carne de bovino	14,67	11,18	9,15	12,32	11,14

Fuente: MAG –Boletín n.16.

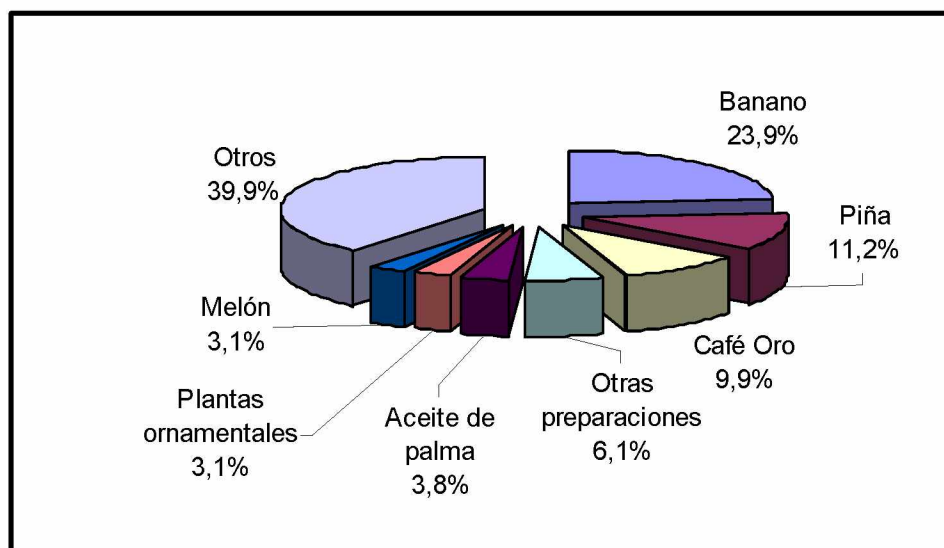
El banano y la piña destacan sobre las demás exportaciones, pero la cantidad de melón, azúcar, aceite de palma y café oro también son muy importantes.

Desde el punto de vista de ingresos de recursos, la importancia relativa de cada producto es diferente, como se puede ver en el gráfico 12, a pesar que el banano responde por alrededor del

24% de las exportaciones y la piña por alrededor del 11%, el café oro y otras preparaciones alimenticias son más importantes que el melón y el azúcar desde el punto de vista de ingreso de divisas en dólares. Tanto en el cuadro 43 como en el gráfico 12 se puede verificar que la importancia del aceite de palma ya es grande, es el quinto producto tanto en toneladas como en valores de ingresos, con alrededor del 4,8% de los ingresos de divisas provenientes del sector agropecuario. El melón perdió posiciones debido a su actual baja cotización en el mercado.

Gráfico 12

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS EXPORTACIONES AGRICOLAS EN INGRESOS



Elaboración propia con datos del MAG –Boletín n.16.

d) La producción de oleaginosas y aceites vegetales: palma africana

Costa Rica produce en gran cantidad apenas una oleaginosa para extracción de aceite: la palma africana. El aceite de palma es empleado en mezcla con otros aceites vegetales para cocina o para usos de la industria alimenticia. Todos los demás aceites vegetales que se usan en cocina son importados. Una empresa domina alrededor del 80% del mercado de envase de aceites vegetales.

Asia es la región con mayor producción de aceite de palma con alrededor de 88% del volumen total producido. En Costa Rica existen tres regiones productoras de palma africana: Pacífico Sur, con 32.000 hectáreas (regiones Coto-Laurel y Palmar-Río Claro-Puerto Jiménez), Pacífico Central (regiones Parrita-Quepos), con 18.500 hectáreas, y la provincia de Limón (regiones Matina-Guapiles) con 1.500 hectáreas, con lo que la siembra total es alrededor de 50.000 hectáreas. La compañía Palmatica acapara el 49% de área sembrada, seguida por los cooperativistas con 30% y el 21% restante por productores independientes. El cuadro 44 indica la evolución reciente en área sembrada, la producción en toneladas de frutos y el rendimiento en toneladas de frutos por hectárea. La producción total de aceite también está indicada. La palma es un cultivo típico de climas tropicales, húmedos y de baja altitud con relación al nivel del mar.

Cuadro 44

COSTA RICA: PRODUCCION DE PALMA AFRICANA (FRUTOS) Y ACEITE DE PALMA

		2000	2001	2002	2003	2004	2005
Producción	1000 toneladas	609,12	666,08	571,20	581,00	670,00	780,00
Área de siembra	1000 ha	39,8	39,8	42,5	43,2	46,6	50,1
Rendimiento	ton frutos / ha	15,31	16,74	13,45	13,45	14,38	13,97
Aceite crudo	1000 toneladas	137,1	149,9	128,4	131,5	150,8	175,0
Rendimiento	Ton aceite / ha	3444	3766	3021	3043	3236	3493

Fuentes: Boletín Estadístico Agropecuario n.16 – SEPSA y Canapalma 2006

A pesar de estar en crecimiento actualmente, el cultivo de palma africana no es nuevo en Costa Rica ya que el inicio de siembras ya tiene más de 60 años. En los años setenta se empezó a trabajar con mejoramientos genéticos para aumentar la productividad y evitar plagas y enfermedades en las siembras. Según el representante de la empresa Palma Tica (Carmona Solano, 2007) hoy se posee material genético para siembras hasta los 1 000 m de altitud, clones de especies enanas, variedades de alta productividad pero con gran demanda de manejo, variedades con productividad menor pero con baja demanda de manejo, etc.

Con un año y medio, la palma africana empieza a producir, pero solo alcanza su plenitud productiva con siete a ocho años de edad. Las fincas maduras de la empresa Palma Tica poseen productividad alrededor de 24 toneladas de frutos por hectárea por año. Información de otros países productores indican productividades de hasta 32 toneladas de frutos por hectárea por año.

El cuadro 45 muestra la producción típica de la palma africana en función de su edad. Una palmera produce en general 12 racimos de frutos por año. El tamaño del racimo y su peso dependen de la edad de la planta, del suelo y de las condiciones climáticas, pero es alrededor de 25 kg para una palmera adulta.

Cuadro 45

COSTA RICA: PARAMETROS DE RENDIMIENTO DE LA PALMA SEGÚN SU EDAD

Edad (años)	3	4	5	6	7	8
Ton / ha / año	7	15	20	22	25	26
kg / racimo	4,1	8,7	11,6	12,8	14,2	15,0

Fuente: MAG – Palma aceitera.

La palma necesita de mucha agua, pero no se puede encharcar, por lo que se usan canales entre las filas para riego, pero también para escurrir el agua de la lluvia. El manejo de las fincas consiste en la siembra, fertilización del suelo, poda, limpieza y cosecha semanal. La palma produce todo el año, pero con variaciones estacionales, pico de producción en agosto y menor producción en los meses secos (noviembre a enero).

La producción de palma es conducida por productores independientes, cooperativas de productores o empresas con grandes extensiones de tierra. En particular, una empresa posee alrededor del 40% del área de palma en Costa Rica, aunque existan alrededor de otros 1.300 productores. Los productores independientes, todavía, trabajan bajo contrato con las empresas que poseen plantas extractoras.

La expansión de áreas de siembra de palma africana ha ocurrido en sustitución de áreas de cultivo de arroz, o de áreas de ganadería.

e) La extracción del aceite de palma

El proceso de producción de aceite de palma requiere una estructura industrial de porte; al contrario de lo que ocurre con muchas otras especies, no es posible producir el aceite de palma en pequeña escala con simples prensas.

Dos tipos de aceite se producen de la palma: el aceite del fruto –que da origen al aceite de palma crudo (PCO)– y el aceite de la almendra –que da el llamado “palm kernel oil” (PKO)–, producido en cantidades mucho menores que el de la fruta, pero de mayor valor comercial. El fruto posee alrededor de 25% de aceite, y la almendra alrededor de 45% de “kernel oil”.

El proceso de producción empieza con la esterilización a vapor a 130 °C por 80 minutos, para limpieza, estabilización de enzimas y para facilitar la separación de los frutos del racimo. Los frutos son entonces prensados y se produce una mezcla de aceite, agua e impurezas. Por decantación y centrifugación se obtiene entonces el aceite crudo de palma. Las almendras son separadas de las fibras de los frutos prensados, descascaradas y prensadas en separado, produciendo el “palm kernel oil”. Los sub-productos del proceso son empleados de diferentes formas, como se describe a continuación.

De cada racimo con frutos se extrae alrededor de 23% en peso de aceite crudo de palma, que puede ser entonces refinado y fraccionado de diferentes formas para las varias aplicaciones. Los racimos ya sin frutos constituyen alrededor de 25% del peso, son llamados de “estopa” y pueden ser usados como fertilizantes en el campo o quemados para producir energía. Las cascarillas de los frutos constituyen alrededor del 5% en peso y después de ser secadas alimentan las calderas para generación de vapor y energía eléctrica de la planta. Las almendras pesan alrededor de 6% del total y producen 45% de aceite de almendra (PKO) y 55% de harina de almendra, que puede ser usada como alimento para el ganado. El agua con impurezas y materia orgánica en suspensión son dirigidas a lagunas de decantación. Existen perspectivas para producción de biogás (metano) por fermentación en las lagunas de decantación, con beneficios al medio ambiente y posibilidad de hacer uso de créditos de carbón.

Los aceites crudo y de almendra pueden ser refinados de diferentes maneras o comercializados de forma cruda. En Costa Rica se hace la refinación del aceite crudo, produciendo oleínas (de mayor valor) y estearinas (para procesos industriales y producción de margarinas).

Actualmente existen cuatro plantas extractoras de aceite de palma en operación en Costa Rica y una quinta fuera de operación. Dos plantas están en la región productora del Pacífico Central y las demás en la región del Pacífico Sur, donde se concentran las mayores áreas de siembra: Naranjo (Palma Tica, 30 toneladas/hora de capacidad), Palo Seco (Palma Tica, 32 toneladas/hora), Coto (Palma Tica, 75 toneladas/hora) y Roble (Coopeagropal, 45 toneladas/hora); la CIPA (15 toneladas/hora) pertenece a un Consorcio, pero no está en operación por diferentes razones.

Existen dos plantas refinadoras de aceite de palma: una ubicada en la capital, propiedad de la Compañía Numar, con capacidad de procesar hasta 200 toneladas por día, y una planta anexa a la extractora Roble, con capacidad de procesar hasta 150 toneladas por día.

Del total de aceite de palma crudo que se produce en Costa Rica, alrededor del 35% se destina al mercado interno y el restante se exporta. Los principales compradores del aceite son Nicaragua (51%), México (31%), Panamá (5%) y Honduras (4%). Es decir, el mercado del aceite de palma producido en Costa Rica es todo regional. Del aceite exportado, el 43% es de aceite crudo y el 57% restante refinado.

3. Matriz energética y mercado de hidrocarburos

Los indicadores energéticos de Costa Rica pueden ser vistos en el cuadro 46. Una parte de los productores privados de energía eléctrica que generan para autoconsumo o por contrato, bajo la Ley 7200, crearon en 1990 la Asociación Costarricense de Productores de Energía (ACOPE). Esta Asociación busca representar productores independientes e incluye consultores, constructores, proveedores de equipos y entidades financieras. Todos sus asociados emplean fuentes renovables de energía (hidroenergía, biomasa, energía eólica).

Cuadro 46

COSTA RICA: INDICADORES ENERGETICOS DE COSTA RICA

Indicador energético	Valor	Unidad
Consumo total de energía	21,5	Millones de BEP
Consumo de electricidad	6 412	GWh
Capacidad eléctrica instalada	1 700	MW
Grado de electrificación	97,0	%
Consumo de derivados de petróleo	15	Millones de barriles
Capacidad de refinación de petróleo	25 000	Barriles / día
Consumo total de energía per cápita	5,16	BEP / habitante
Intensidad energética promedio	1 272	BEP / millones de US\$

Fuente: Cruz, 2006

Los derivados de petróleo constituyen la mayor fuente de energía, con alrededor del 67% de toda la energía consumida, la electricidad contribuye con alrededor del 22% y las demás fuentes son los residuos vegetales (7,5%), la leña (2,5%), y el carbón vegetal (0,4%). Cuando se

analiza el consumo de energía por sector, los transportes se destacan fuertemente (51%) frente a los demás sectores: industrial (18%), residencial (12%), agropecuario (6%), comercial (5,5%), público (4,5%) y otros (3%). Es necesario poner énfasis en la importancia de los derivados de petróleo en el sector de transportes.

Costa Rica posee una refinería de petróleo, pero no existe producción local de crudos. Todo el petróleo es importado por lo que el país está expuesto a las variaciones de los precios internacionales. La factura petrolera puede alcanzar hasta el 18% del valor de los ingresos totales de las exportaciones cuando la coyuntura es desfavorable, como ocurrió en el 2006. Además, el crecimiento de la flota de vehículos es acelerado, especialmente en el caso de los vehículos particulares (automóvil, jeep, motos). El crecimiento de los vehículos de carga o de transporte público es más adherente al crecimiento económico del país y al incremento del comercio exterior con los países vecinos.

La refinería estatal RECOPE (Refinería Costarricense de Petróleo), ubicada en la costa del Atlántico, posee el monopolio de las importaciones de petróleo y de sus derivados. La reglamentación de la distribución de los derivados permite que otras empresas mayoristas actúen y las gasolineras son de propiedad privada. Los centros de almacenamiento de derivados están distribuidos por el país y son de propiedad de la RECOPE.

Cuadro 47

COSTA RICA: VENTAS TOTALES DE GASOLINA Y DIESEL EN 2006

Producto	Barriles	Millones galones	Millones Litros
Gasolina regular	3 591 608	150 847	571 018
Gasolina Súper	1 676 661	70 420	266 569
Diesel	7 046 737	295 962	1 120 338
Diesel pesado	34 160	1 435	5 432

Fuente: RECOPE – Dirección de servicio al cliente

Las ventas totales de gasolinas y de diesel se indican en el cuadro 47. Es de notar que el consumo del diesel es casi el doble que el de la gasolina regular; esta a su vez, posee un consumo que es casi el doble de la gasolina súper. El diesel pesado es empleado en general para generación eléctrica. El 78% del diesel y el 98% de la gasolina son destinados al sector de transporte.

El país practica la fijación de precios al consumidor final para todos los principales derivados de petróleo. Los precios con y sin impuestos se publican en la Gaceta Oficial por autorización gubernamental con la fecha inicial de validez. El cuadro 48 presenta ejemplos de precios al consumidor de las gasolinas y del diesel para varios meses de los años 2005, 2006 y 2007, cuando el precio del barril de petróleo alcanzó valores muy elevados.

Cuadro 48

COSTA RICA: PRECIOS AL CONSUMIDOR DE GASOLINAS Y DIESEL

Fecha	Gasolina regular		Gasolina Súper		Diesel	
	Col / litro	US / litro	Col / litro	US / litro	Col / litro	US / litro
04/02/2005	370	0,8013	353	0,7645	264	0,5717
09/05/2005	424	0,9000	405	0,8597	305	0,6474
18/08/2005	434	0,9015	406	0,8433	297	0,6169
22/09/2005	479	0,9869	446	0,9189	318	0,6552
28/10/2005	504	1,0307	463	0,9468	337	0,6892
08/11/2005	458	0,9348	436	0,8899	337	0,6878
29/11/2005	441	0,8919	420	0,8531	324	0,6581
21/12/2005	422	0,8535	402	0,8131	303	0,6128
26/01/2006	457	0,9164	436	0,8743	319	0,6397
28/03/2006	462	0,9164	439	0,8708	313	0,6209
12/05/2006	526	1,0368	504	0,9934	344	0,6781
14/07/2006	575	1,1203	550	1,0716	380	0,7404
06/09/2006	548	1,0593	520	1,0052	383	0,7403
01/11/2006	501	0,9728	471	0,9146	345	0,6700
19/12/2006	516	1,0014	486	0,9432	347	0,6734
09/01/2007	488	0,9460	460	0,8917	364	0,7056
05/02/2007	453	0,8759	425	0,8218	335	0,6478

Fuente: La Gaceta n.12, 17/01/2007 y Banco Central de Costa Rica.

Los precios de combustibles al consumidor, fijados por el gobierno, están afectados por un impuesto único, con valor diferente para cada tipo de derivado, y eventualmente por márgenes promedios de comercialización en gasolineras o en aeropuertos. Los impuestos de tipo IVA no inciden sobre los combustibles. El cuadro 4.9 muestra la estructura de precios de algunos derivados de petróleo que rigen a partir del 05/02/2007.

Cuadro 49

COSTA RICA: ESTRUCTURA DE PRECIOS DE ALGUNOS COMBUSTIBLES

(Colones/litro)

	Costo	Impuesto	Márgenes	Precio final	% Impuesto
Gasol. Súper	270,54	150,25	31,72	452,51	33,20
Gasol. Regular	249,80	143,75	31,72	425,28	33,80
Gasol. Avión	304,27	143,75	12,86	460,89	31,19
Diesel	218,68	84,50	31,72	334,90	25,23
Diesel pesado	177,16	27,50	0,00	204,66	13,44
Asfalto	135,94	28,75	0,00	164,69	17,46

Fuente: La Gaceta n.12, 17/01/2007.

4. La producción de biodiesel actualmente

Existe hoy en operación en Costa Rica una planta productora de biodiesel, dos plantas en construcción y otra en proyecto, cuya construcción está por confirmarse. Los datos para las plantas en construcción aún no están disponibles, pero se puede afirmar que deberán producir a partir de aceite de palma, pues están asociadas con empresas productoras de palma africana. Según información del consultor de la Canapalma (Cámara Nacional de Productores de Palma – Emileth Barrientes), una de ellas está ubicada en una zona franca y deberá centrar su producción para fines de exportación, mientras que la otra pretende comercializar su producción en el mercado local. Aquella que está en proyecto aún no confirmó su estrategia comercial.

La planta en operación está ubicada en Alto de Ochomogo, Cartago, y pertenece a la empresa Energías Biodegradables. Esta empresa no está conectada a ninguna empresa de producción o extracción de palma africana y emplea como materia prima aceite usado de reciclaje, o aceites adquiridos en el mercado local (soya o palma). La tecnología empleada no fue adquirida sino desarrollada por la propia empresa. Su capacidad de producción es de 3 millones de litros por mes, pero su producción actual aún está limitada para usos en pruebas. El proceso de producción emplea reacción en dos etapas, recuperación del metanol y producción de glicerina bruta. La calidad del biodiesel producido se garantiza por filtración con sílicas. El productor señaló que su principal barrera es la disponibilidad de materia prima y su precio: el aceite usado no es disponible en grandes cantidades, y los aceites de soya o de palma están con precios en niveles muy altos. Según información de Madriz (2007), la empresa tiene pagado los precios de Róterdam (alrededor de US\$ 600 por tonelada) acrecentado en 50 dólares para aceites de palma o soya y alrededor de US\$ 200 por tonelada para el aceite usado debido a competencia con productores de alimentación animal.

Las pruebas del producto en mezcla con diesel (B30) están siendo conducidos en una flota cautiva de 130 autobuses (La Nación, 2006). El biodiesel empleado es producido de aceites usados y aceite de palma. Según la empresa Energías Biodegradables, el costo del biodiesel es de alrededor de 500 Colones por litro, más el 13% de IVA, mucho mayor que los 345 Colones por litro del diesel de petróleo. También fueron efectuados con éxito pruebas de uso del biodiesel en hornos y calderas para reducir la contaminación de los humos. Para este tipo de empleo el biodiesel es aún menos capaz de competir con los precios de los derivados de petróleo usados en hornos y calderas.

El representante de la empresa defiende la elaboración de una política nacional explícita para el biodiesel, el desarrollo agronómico y el empleo de otras oleaginosas no comestibles, con el objetivo de reducir el costo de las materias primas para el biodiesel.

5. Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación

La Constitución Política de Costa Rica es el primer marco legal para la introducción de biocombustibles en la matriz energética del país, como se puede ver en todas las presentaciones efectuadas por representantes de los Ministerios de Agricultura y Ganadería (MAG) o Ministerio

de Energía y Ambiente (MINAE). En el Artículo 50, se declara el derecho de los ciudadanos a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, y que corresponde al Estado garantizar, defender y preservar este derecho. En el Artículo 76, se menciona que el Estado fomentará el uso de formas de energía y tecnologías limpias y sostenibles.

La Ley n. 7447 de 1994 presenta la regulación del Uso Racional de la Energía, con la promoción de mecanismos para alcanzar el uso eficiente y sustitución cuando convenga al país. Así, el empleo del biodiesel se puede encuadrar en esta Ley al proponer la sustitución del diesel de petróleo.

De la misma forma, la Directriz n. 22, de abril 2003, incentiva la utilización de nuevas tecnologías que utilicen fuentes renovables, cuando sean técnica y económicamente viables. El gran desafío es construir la viabilidad económica del biodiesel.

Como forma de introducción del etanol anhidro en la gasolina y sustituir el MTBE, el Decreto n.31087 del MAG-MINAE de febrero de 2003 determinó que las gasolinas deberían ser mezcladas con etanol anhidro en porcentajes de mezcla definidos por el poder ejecutivo a partir del 1° de enero de 2005. Un Recurso de Inconstitucionalidad aún no resuelto impide la implementación de esta disposición.

La distribución, el almacenamiento y la comercialización de hidrocarburos se rigen por el Decreto 30131 “Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos”, de 01/02/2002, que define las condiciones técnicas de seguridad y protección al ambiente para estaciones de servicio usuales, marinas, para aeronaves, de GLP y mixtas (líquidos y GLP), así como para instalaciones de almacenamiento de combustibles industriales para autoconsumo y para distribuidores sin local fijo (peddlers).

Desde el punto de vista ambiental, Costa Rica ya posee un Reglamento sobre la Emisión de Contaminantes Atmosféricos – Decreto n.30221-S, de 21/03/2002 – y Reglamento para el Control y Revisión Técnica de las emisiones de gases contaminantes producidas por vehículos automotores –Decreto n.28280 MOPT-MINAE-S, publicado en La Gaceta 236 de 06/12/1999.

El gobierno de Costa Rica creó una Comisión Técnica de Trabajo del Estudio de Biodiesel para evaluar las condiciones, ventajas y barreras para la introducción de este biocombustible en su matriz energética, a través del Decreto n. 31818 del 9 de junio de 2004, por iniciativa del MAG y del MINAE. El objetivo de la comisión es “formular, identificar, diseñar y recomendar estrategias para el desarrollo del biodiesel producido nacionalmente y utilizando materias primas locales, promoviendo la vinculación del ambiente con los sectores de energía y agropecuarios” (Vega, 2005). Hacen parte de la Comisión representantes del MAG, del MINAE, de RECOPE, de la Cámara Nacional de Productores de Palma (CANAPALMA), del sector industrial de palma aceitera y de la industria oleoquímica. Los trabajos de dicha Comisión indicaron cuatro componentes integrados para alcanzar el objetivo pretendido: Gestión y articulación, Investigación y tecnología, Agroindustrial y Cooperación y promoción. La recomendación principal que resultó de los trabajos de la Comisión fue la indicación de la necesidad de discusión y aprobación en la Asamblea Legislativa de una Ley de Biocombustibles para definir un marco legal que favorezca la obtención de las ventajas sociales, agroindustriales y ambientales del uso de combustibles renovables.

Se encuentra en la Asamblea Legislativa de Costa Rica un Proyecto de Ley sobre Biocombustibles, con quince artículos en los que se definen siete tipos de biocombustibles. El proyecto crea la Oficina Nacional de Biocombustibles y el Consejo Nacional de Biocombustibles. El MINAE determina una serie de políticas generales para la promoción del mercado de biocombustibles. Los precios de comercialización de los biocombustibles quedarían fijados por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

El Decreto Ejecutivo n. 26443 – MEIC de noviembre de 1997 ya permite que se utilice el biodiesel hasta en 5% como aditivo para mejorar las características de comportamiento y la estabilidad de almacenamiento del diesel. Por otro lado, no existe definición legal para la comercialización de mezclas con mayores porcentajes de biodiesel.

Desde el punto de vista de la calidad del biodiesel, el subgrupo de Hidrocarburos de la Región Centroamericana ya aprobó en noviembre de 2006 el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:06 que define las especificaciones del biodiesel (B100) y sus mezclas con aceite combustible diesel. Para que este Reglamento sea oficial debe ser ratificado por una resolución del Consejo de Ministros de Integración Económica (COMIECO). Desde el punto de vista técnico, el Reglamento propuesto está muy sólido, combinando las especificaciones de Estados Unidos (ASTM D 6751-06) y de la Unión Europea (EN 14214:2003) y haciendo que la calidad mínima del biodiesel no traiga ningún problema a los consumidores. Un problema a resolver es el desarrollo de laboratorios en Costa Rica capaces de realizar los ensayos de propiedades de las Especificaciones RTCA 75.02.43:06 para certificar la calidad del producto.

Con relación a acuerdos internacionales, en la XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y Caribe, realizada en Panamá en noviembre de 2003, los países presentes aprobaron la Plataforma de Brasilia que proyecta un 10% del consumo de energía a partir de fuentes renovables.

6. Escenarios para producción de biodiesel

a) Evaluaciones anteriores

La Comisión Técnica de Trabajo para Estudio del Biodiesel hizo proyecciones para la demanda de biodiesel, en el escenario de uso de B5 y de B20. Los resultados son reproducidos en el cuadro 50. Las estimaciones de demanda de diesel son de la RECOPE, y el incremento de área necesario presupone una productividad de alrededor de 5.725 litros de biodiesel por hectárea de siembra de palma, que representa una productividad promedia mayor que la observada hoy, de alrededor de 4.000 litros de aceite por hectárea ó 3.900 litros de biodiesel por hectárea. Si no se concreta la productividad empleada para las proyecciones, el área de siembra deberá ser mayor que la indicada en el cuadro 50.

Cuadro 50

COSTA RICA: PROYECCIONES DE USO DE BIODIESEL,
VOLUMENES E INCREMENTO DE AREA DE SIEMBRA DE PALMA

		2005	2007	2010	2012	2015	2017
Diesel	millones litros	844,5	882,0	973,7	1040,0	1148,2	1227,5
B5	millones litros	42,2	44,1	48,7	52,0	57,4	61,4
B20	millones litros	169,0	176,4	194,7	208,0	229,7	245,4
Área B5	1000 ha	7,4	7,7	8,5	9,1	10,0	10,7
Área B20	1000 ha	29,5	30,8	34,0	36,3	40,1	42,9

Fuente: Cruz y otros, 2006.

Evaluaciones realizadas por la RECOPE indican que los precios del diesel serían impactados con la mezcla de biodiesel de palma. Para un escenario de precios internacionales altos, con el diesel a US\$ 61,8 / barril, se estima un impacto de alrededor de 0,5% para el B1 y de alrededor de 1,4% para el B5. Con precios internacionales más bajos (promedio histórico de US\$ 26,80 / barril), los impactos son proporcionalmente mayores, 2,6% para el B1 y 9,2% para el B5.

b) Evaluación del sector agrícola

La Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA) propone la diversificación de las materias primas para producción de biodiesel, con especial atención en el tempate (piñón o *Jatropha curcas*). Entre sus ventajas, se encuentra que esta especie es nativa de América Central y es empleada para hacer cercas vivas, ya es conocida por los agricultores, no es comestible, es resistente a sequías, no es exigente en cuanto al tipo de terreno y su semilla posee alrededor de 38% de aceite. Por otro lado, como hasta el momento no ha sido cultivada con método, su manejo, selección de variedades, adaptación para mayor productividad de frutos y mayor cantidad de aceite en las semillas, aún no son desarrollados de modo suficiente. La experiencia desarrollada en Nicaragua para obtener biodiesel del tempate (proyecto EMAT, de 1997), no resultó buena. Hoy, los países buscan aprender de los problemas del proyecto de Nicaragua, para superar las dificultades encontradas en aquel país.

Los suelos en Costa Rica son clasificados de acuerdo con su capacidad productiva en clases I al VIII (Vega, 2007). La disponibilidad de área de cada clase y en cada región del país ya fueron identificados. La SEPSA propone que la producción de biodiesel con materias primas alternativas a la palma ocupe áreas con clase de capacidad más alta, es decir, tierras con menor productividad para la mayor parte de los cultivos, pero que pueden ser empleadas para especies rústicas como el tempate.

c) Evaluaciones y recomendaciones de este informe

Con base en la información recabada se concluye que, cuestiones de disponibilidad de tierras no son críticas para la introducción del biodiesel en Costa Rica. Por un lado, el aumento de siembra de palma africana puede ocurrir sin desplazar otros cultivos; por otro lado, para emplear

el piñón, las áreas escogidas no hacen competencia con la producción de alimentos para uso interno.

Empleando los datos de consumo de diesel previstos por la RECOPE y mostrados en el Cuadro 50, se hace una estimación del área necesaria para atender a un B5, en el caso de siembra de piñón. Los valores son tentativos, pues este cultivo no tiene aún datos de productividad por hectárea ni de rendimientos de extracción de aceite bien establecidos, como ocurre con la palma africana. Las hipótesis adoptadas fueron i) porcentaje de aceite de 38% en peso de la semilla; ii) productividad de 1,5 toneladas de semilla por hectárea; iii) rendimiento de extracción de aceite de 85%; d) rendimiento de conversión de aceite en biodiesel de 95%. Los resultados se muestran en el cuadro 51.

Cuadro 51

COSTA RICA: ESTIMACIONES DE AREA DE SIEMBRA DE JATROPHA PARA BIODIESEL

		2007	2010	2012	2015	2017
Diesel	millones litros	882,0	973,7	1040,0	1148,2	1227,5
B5	millones litros	44,1	48,7	52,0	57,4	61,4
Área B5	1000 ha	84,3	93,1	99,4	109,8	117,3

Fuente: Estimación propia.

Una comparación entre los cuadros 50 y 51 indica que para atender a un B5 las áreas a sembrar con piñón son de 10 veces mayores que para la palma. Los números obtenidos para palma talvez sean un poco optimistas y los números para el piñón un poco pesimistas. Todavía, los datos de productividad agrícola del piñón encontrados en literatura (Heller, 1996) indican valores de dos a tres toneladas de semillas por hectárea, sin detallar si son secas o húmedas. En caso de que la productividad sea mejor, serán necesarias menores áreas.

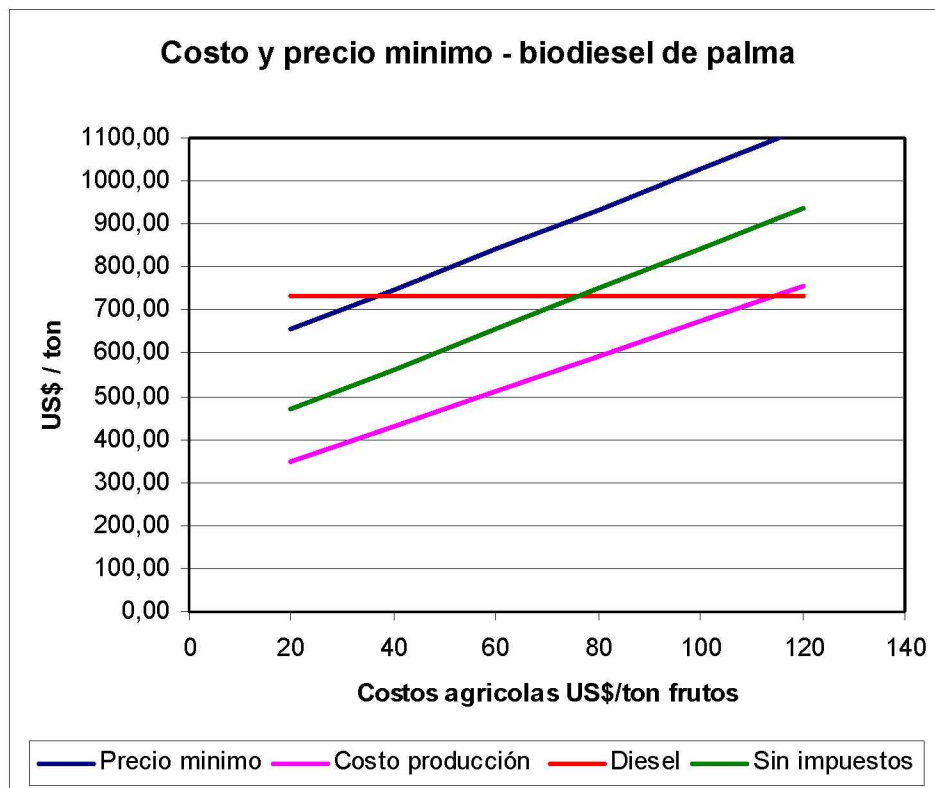
Desde el punto de vista industrial, la tecnología de producción de aceite de palma ya es conocida en el país y la tecnología de producción de biodiesel no es muy sofisticada. El país tiene condiciones de absorber sin problemas el *know-how* de este nuevo producto.

Como en todo lugar, las principales barreras al biodiesel son de naturaleza económica. Con el costo de producción de frutos de palma alrededor de los US\$ 60 por tonelada, y tomando en cuenta las hipótesis presentadas en el capítulo III para determinación de costos y precio máximo, el costo estimado del aceite sería de US\$ 401 por tonelada y el costo de producción del biodiesel alrededor de US\$ 511 por tonelada, para la producción integrada desde la etapa agrícola. El precio mínimo sin impuestos sería de US\$ 656 por tonelada, ó US\$ 2,19 por galón (300 colones/litro). Suponiendo el impuesto del biodiesel igual al del diesel, el precio mínimo llega hasta US\$ 841 por tonelada, ó US\$ 2,80 por galón (385 colones por litro). Es decir, el precio mínimo con impuesto incluido es mayor que el precio de mercado del diesel; sin embargo, hay margen para reducción de impuestos para mantener la viabilidad. El gráfico 13 muestra cómo varían el costo y el precio mínimo en función de los costos agrícolas.

La viabilidad económica sólo existe hasta un costo de producción de alrededor de US\$ 38 por tonelada de frutos para una carga tributaria idéntica al del diesel. Para exención total de impuestos, el costo de la tonelada de fruto puede llegar hasta US\$ 78. Otro factor importante es que la producción de biodiesel puede ser un ancla para situaciones donde los precios del aceite de palma no estén buenos o que no se encuentre facilidad en su exportación. Por otro lado, para productores de biodiesel que dependen de adquisiciones de aceite de palma en el mercado, los costos serán mayores. Suponiendo el precio del aceite de palma a US\$ 580 por tonelada (promedio de enero de 2007), el costo de producción de biodiesel sería de US 693 por tonelada (317 colones). El precio mínimo sin impuestos sería de US\$ 866 por tonelada (396 colones por litro) y con impuesto, de US\$ 1.051 por tonelada, ó US\$ 3,50 por galón (481 colones por litro). En este caso, aunque la exención de impuestos sea total, el precio mínimo supera el precio de mercado del diesel.

Gráfico 13

ESTIMACIONES DE COSTOS Y VIABILIDAD PARA COSTA RICA



Fuente: Elaboración propia, Datos de Costa Rica.

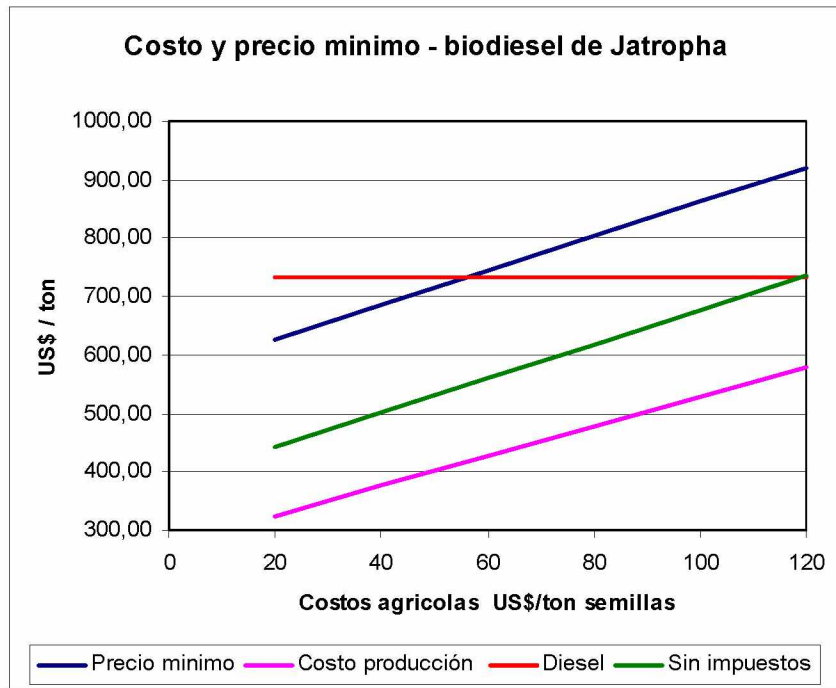
Un ejercicio similar se hizo para la *Jatropha curcas* (piñón). El gráfico 14 presenta el costo de producción y precio mínimo con y sin impuestos en función de los costos agrícolas por tonelada de semillas secas.

La barrera económica es el precio de mercado del diesel. Si los costos agrícolas son inferiores a US\$ 58, el biodiesel es atractivo aún con toda la carga tributaria del diesel. El precio

mínimo sin impuestos alcanza el precio del diesel para costos agrícolas de alrededor de US\$ 120 por tonelada de semillas.

Gráfico 14

VIABILIDAD PARA LA JATROPHA (PIÑÓN)



Fuente: Elaboración propia. Datos de Costa Rica.

Es importante mencionar que los gráficos anteriores deben ser tomados con cautela, pues traen consigo una serie de hipótesis que, si no se cumplen, pueden cambiar valores de precio y costos, y afectar de modo importante las conclusiones de su análisis.

Finalmente, como la competencia económica del biodiesel se hace con el diesel de petróleo, es importante tener en cuenta los precios del petróleo y de los hidrocarburos en el mercado internacional. Si los precios del barril de petróleo disminuyen, la viabilidad del biodiesel es afectada negativamente y viceversa si los precios del barril suben. De cualquier forma, independientemente de la tendencia de corto plazo de los precios de petróleo, es importante que se defina si el biodiesel es importante para la matriz energética y para el desarrollo agrícola o no y entonces apostar en el largo plazo.

Si el país desea introducir el biodiesel en su matriz, es necesario que se establezca un sistema de control de calidad y certificación del producto para que evitar problemas en los motores, con impactos sobre consumidores u operadores de flotas. Por seguridad, se aconseja que las mezclas sean de bajos porcentajes de biodiesel al inicio y posteriormente, con el aumento de la experiencia con este nuevo producto, se puede aumentar la proporción de biodiesel en la mezcla.

V. PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN EL SALVADOR

Las condiciones actuales de El Salvador para el empleo del biodiesel en su matriz energética son evaluadas. Como fue indicado para todos los países visitados, se analizan los datos socio-económicos, agrícolas y de producción de posibles materias primas para el biodiesel y se discuten las barreras actuales. Todas estas condiciones son evaluadas y se analizan posibles escenarios para la introducción de este combustible renovable en el mercado de hidrocarburos, en sustitución al diesel de petróleo.

1. Características socioeconómicas del país

El cuadro 52 muestra los indicadores socioeconómicos de El Salvador. A pesar de ser el país con menor superficie del Istmo Centroamericano, El Salvador posee una población de 6,88 millones de personas, quienes en su mayoría viven en las ciudades (58%), con una concentración promedio de alrededor de 3,3 habitantes por hectárea, que es elevada. Su PIB per cápita es bajo, y los porcentajes de pobreza son relativamente altos. El número de personas que viven con menos de US\$2 dólares de ingreso promedio por día también es alto. Estos indicadores sociales desfavorables indican al país como uno de los que necesitan apoyo para superar los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Además, su gasto público en sectores sociales aún es bajo, aunque viene creciendo como porcentaje del PIB.

A pesar de tener área total menor que los demás países de la región, la superficie arable es proporcionalmente grande y la proporción de bosques y forestas es baja. Gran parte de su superficie agrícola es ocupada por ganadería o está sin uso. La ganadería bovina es extensiva, con cerca de 1,6 cabezas por hectárea. Como su relevo es accidentado, el país pierde aún más superficie arable en el caso de cultivos que no pueden ser hechas en regiones con pendientes elevadas.

Información del Ministerio de Agricultura y Ganadería sobre uso de la tierra para el año 2006 se presenta en el cuadro 53. Es importante destacar que el área de bosques es mayor que el presentado en el Siagro para el 2005, que el área de ganadería se redujo, y que las tierras ociosas están descritas de forma explícita.

Cuadro 52

EL SALVADOR: INDICADORES SOCIOECONÓMICOS Y DE USO DE TIERRAS

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Población 1000 personas	6 276	6 397	6 518	6 638	6 757	6 875
PIB per capita	2 092	2 088	2 097	2 106	2 107	2 128
Población urbana %	55,2	ND	ND	ND	ND	57,8
Población rural %	44,8	ND	ND	ND	ND	42,2
%pobreza – nacional	ND	48,9	ND	ND	47,5	ND
% pobreza – rural	ND	62,4	ND	ND	56,8	ND
% población <2 US\$/día	39,17	ND	40,5	ND	ND	ND
Gasto público % PIB	5,2	6,6	7,2	7	7,2	ND
Superficie terrestre - 1000 ha	2 072	2 072	2 072	2 072	2 072	2 072
personas / ha	3,03	3,09	3,15	3,20	3,26	3,32
Superficie agriculturable - 1000 ha	1 704	1 704	1 704	1 704	1 704	1 704
Superficie arable - 1000 ha	640	660	660	ND	ND	ND
Área cosecha permanente - 1000 ha	250	250	250	ND	ND	ND
Área ganadera - 1000 ha	794	794	794	794	794	794
Bovinos 1000 cabezas	1 200	1 216	1 301	1 249	1 259	1 257
cabezas / ha	1,51	1,53	1,64	1,57	1,59	1,58
Área de bosques - 1000 ha	324	ND	ND	ND	ND	298
Proporción de bosques	15,6	ND	ND	ND	ND	14,4

Fuente: CEPALSTAT; Siagro y Badeinso.

Cuadro 53

EL SALVADOR: USO DE LA TIERRA EN 2006

Rubros	1000 Hectáreas
Segmento agrícola	278,5
Agroindustriales	229,2
Masa boscosa	358,5
Ganadería	564,8
Ociosas	336,7
Otros usos	290,8
TOTAL	2058,5

Fuente: MAG, 2007.

El cuadro 54 presenta el Balance Comercial total y el Saldo de la Deuda Externa de El Salvador. El país presenta saldos comerciales negativos crecientes y el saldo de su deuda externa también crece. La proporción del saldo de la deuda externa con relación al PIB también crece, excepto para el último año de la serie (2005).

Cuadro 54

BALANCE COMERCIAL TOTAL Y DEUDA EXTERNA

Deuda externa	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	2 303	2 632	3 457	3 938	4 142	4 262
(% PIB)	17,5	19,1	24,2	26,2	26,2	25,1
Balance Comercial total	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	-1 974,5	-2 182,9	-2 104,6	-2 393,5	-2 739,4	-3 079,6

Fuente: CEPALSTAT.

2. Características agrícolas del país

a) El uso agrícola de las tierras

El cuadro 55 presenta las extensiones de tierra empleadas para los principales productos agrícolas para consumo interno y para exportación, ordenados de forma decreciente. Para consumo en el país se destacan las extensiones de cultivo de maíz, sorgo y frijol, mientras que para exportación, el café y la caña de azúcar. Las extensiones de cultivo de los demás productos son pequeñas en relación a los cultivos ya mencionados.

Cuadro 55

EL SAVADOR: MAYORES EXTENSIONES DE TIERRAS PARA COSECHAS

(Miles de hectáreas)

Miles de hectáreas	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Maíz	259,26	294,11	247,44	228,96	234,82	247,6
Café	163,94	160,94	160,93	160,93	160,93	160,93
Sorgo	93,94	97,46	76,39	88,32	92,42	89,3
Frijol	79,03	85,18	83,2	84,01	87,18	85,7
Caña de azúcar	77,00	69,28	75,6	75,6	75,6	54,4
Copra	7	8,4	2,3	4,5	7,9	4,4
Algodón	1	0,2	0,1	0,1	2,2	4,1
Naranja	5,2	5,3	5,4	5,1	5,1	3,5
Semilla ajonjolí	8,4	7,7	4,3	2,2	2,2	2,5
Sandía	3,8	3,1	2,4	2,8	2,8	2,5
Plátano	2,1	2,4	2,5	2,4	2,4	2,5
Banano	6	6	6	6	6	2
Yuca	1,4	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6

Fuente: CEPALSTAT – Siagro.

b) Producción, importación y consumo aparente de alimentos básicos.

La producción de granos básicos varía cada año; para el arroz y para el café, los volúmenes producidos se han mantenido estables; en el caso del arroz, la productividad (toneladas por hectárea) está aumentando pero para el café la productividad (toneladas por hectárea) está disminuyendo, como se constata en el cuadro 56.

Tanto el maíz como la caña de azúcar tienen producción creciente, acompañadas de crecimiento de productividad por hectárea. Para el sorgo, las tendencias de volúmenes de producción y de productividad no presentan tendencias claras. Para el frijol, la productividad está aumentando, pero los volúmenes disminuyeron en el último año reportado.

Cuadro 56

EL SALVADOR: PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE GRANOS Y PRODUCTOS DE EXPORTACIÓN

Producción agrícola	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Miles de toneladas)						
Arroz	47,2	37,7	29,1	22,8	26,8	26,3
ton / ha	5,79	6,03	5,94	6,85	6,72	7,31
Frijol	69,3	75	82,7	84,5	85,8	65,9
ton / ha	0,88	0,88	0,99	1,01	0,98	0,92
Maíz	583	571,8	644,7	635,5	655,8	736
ton / ha	2,25	1,94	2,61	2,78	2,79	2,97
Sorgo	149	150,6	140,8	142,7	149,4	143,1
ton / ha	1,59	1,55	1,84	1,62	1,62	1,64
Café	110,68	109,62	90,32	88,42	82,7	80,2
ton / ha	0,68	0,68	0,56	0,55	0,51	0,5
Caña de Azúcar	4 685,73	4 537,91	4 908,48	5 123,94	5070,58	5268,2
ton / ha	60,85	65,5	64,93	67,78	67,07	69,69

Fuente: CEPALSTAT – Siagro.

El cuadro 57 muestra las importaciones de granos efectuadas cada año por El Salvador. Para arroz, frijol y maíz se puede afirmar que los volúmenes de importación tienen tendencia creciente. Los precios efectivos promedios anuales de importación están siempre por debajo de los precios internacionales promedios, lo que es muy interesante para el país. En el cuadro 58 se presentan el consumo aparente (obtenido por la suma de la producción local con las importaciones, y la deducción de los volúmenes eventualmente exportados) de los granos básicos y carne bovina, así como el grado de dependencia de importaciones, la producción local per cápita y el consumo per cápita.

Cuadro 57

EL SALVADOR: IMPORTACIONES AGRICOLAS

(Miles de toneladas)	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz	57 404	67 635	86 144	93 456	73 444	89 464
Efectivo US\$ / ton	187,41	185,89	139,01	160,12	236,48	231,11
Internac. ^a US\$ / ton	265,8	205,8	222,4	248,8	270	308,6
Frijol	10 106	18 355	27 193	21 941	16 483	25 135
efectivo US\$ / ton	487,33	473,28	465,71	424,46	480,37	642,81
Internac. ^a US\$ / ton	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Maíz	399 855	456 203	394 498	399 955	441 66	468 383
efectivo US\$ / ton	120,31	121,93	127,66	135,76	154,68	139,36
Internac. ^a US\$ / ton	72	74,25	82,43	ND	ND	ND
Trigo	237 225	235 856	239,14	254 607	271 367	241 143
efectivo US\$ / ton	152,12	152,47	170,92	191,52	203,13	192,22
Internac. ^a US\$ / ton	114	126,8	148,5	146,1	156,9	152,4
Carne	12,492	12,14	15,507	15,038	15,254	16,67
Internac. ^a US\$ / ton	1 932	2 124	2 119	2 129	2 508	2 611

Fuente: CEPALSTAT – Siagro

a/ fob Golfo.

Cuando se comparan los datos de los tres últimos cuadros, resulta evidente que la producción interna de granos básicos no es suficiente para suplir el consumo aparente. La única excepción es el sorgo, en que el país es casi autosuficiente. En el caso del trigo, no existe producción local y la dependencia de importaciones es total. Para el arroz, la dependencia es de alrededor del 85% del consumo, para el frijol de 25% y para el maíz del 45%. También para la carne bovina existen importaciones netas, pues la producción neta per cápita (kg/año) es menor que el consumo por habitante (kg/año).

En el caso de El Salvador, la pequeña disponibilidad de tierras causa el problema de la autosuficiencia alimenticia de forma más aguda que para los demás países que poseen muchas áreas ociosas. Para este país, las tierras ociosas deben ser evaluadas de acuerdo con sus características y destinadas a las culturas más adecuadas para ellas.

Cuadro 58

EL SALVADOR: CONSUMO APARENTE Y GRADO DE DEPENDENCIA DE IMPORTACIONES

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz limpio						
Consumo aparente - 1000 ton	84,26	88,72	100,57	104,85	87,25	104,24
Grado de dependencia - %	68,13	76,23	85,65	89,13	84,18	85,82
Producción neta per cápita - kg/año	4,29	3,37	2,55	1,96	2,27	2,23
Consumo por habitante - kg/año	13,43	13,88	15,45	15,82	12,93	15,17
Frijol						
Consumo aparente - 1000 ton	69,12	83,8	98,96	95,35	90,79	94,88
Grado de dependencia - %	14,62	21,9	27,48	23,01	18,15	26,49
Producción neta per cápita - kg/año	9,94	10,56	11,43	11,47	11,44	10,62
Consumo por habitante - kg/año	11,01	13,11	15,2	14,39	13,45	13,8
Maíz						
Consumo aparente - 1000 ton	856,22	913,42	908,65	908,2	966,18	1 074,5
Grado de dependencia - %	46,7	49,94	43,42	44,04	45,71	43,59
Producción neta per cápita - kg/año	74,31	71,57	79,24	76,71	77,73	88,19
Consumo por habitante - kg/año	136,43	142,92	139,61	137,03	143,15	156,32
Sorgo						
Consumo aparente - 1000 ton	142,31	143 584	133,87	135,76	142,05	144,18
Grado de dependencia - %	0,528	0,377	0,12	0,174	0,087	0,21
Producción neta per cápita - kg/año	22 557	22 385	20 556	20 447	21 028	20 932
Consumo por habitante - kg/año	22 675	22 466	20 568	20 483	21 046	20 976
Trigo						
Consumo aparente - 1000 ton	220,79	215,68	205,13	229,94	267,83	240,60
Grado de dependencia - %	100	100	100	100	100	100
Consumo por habitante - kg/año	35 179	33 746	31 517	34 692	39,68	35 003
Carne bovina						
Consumo aparente - 1000 ton	40,2	42,7	42,5	44,0	41,0	42,4
Producción neta per cápita - kg/año	5,47	5,42	4,6	4,41	3,93	3,93
Consumo por habitante - kg/año	6,4	6,67	6,53	6,63	6,07	6,17

Fuente: CEPALSTAT – Siagro

c) Productos exportados de cobertura agropecuaria

El café y el azúcar son los principales productos de cobertura agropecuaria exportados por El Salvador. El azúcar posee un volumen mucho mayor que los demás rubros, pero el café proporciona mayores ingresos de divisas. Los otros rubros agropecuarios pesan poco, tanto en términos de volúmenes como de ingreso de divisas. Las exportaciones de granos básicos (arroz, frijol, maíz) no están en el cuadro 59, pues el país es un importador neto de estos productos.

Cuadro 59

EL SALVADOR: PRINCIPALES EXPORTACIONES AGROPECUARIAS, 2004

Productos	Toneladas	1000 US\$
Azúcar	251 110	37 250
Café	68 508	105 684
Prod. Avícolas	11 301	7 391
Hortalizas	4 272	4 526
Leche y derivados	2 236	6 191
Frutas	1 098	1 265
Mariscos y pescados	325	1 795

Fuente: MAG/DGEA, 2005, Estadísticas de Comercio Exterior.

d) La producción de oleaginosas y aceites vegetales

Desde el punto de vista de producción de oleaginosas, el país produce maíz, copra, algodón y ajonjolí (véase el cuadro 55), pero en volúmenes pequeños y no con el objetivo de obtener aceites vegetales para cocina. Aún, en la base de datos de la FAO (FAOSTAT) se registran producciones de aceite de copra (1.536 toneladas en 2004) y de ajonjolí (45 toneladas en 2004). Los técnicos del MAG no tienen información más reciente sobre la producción de aceites vegetales en El Salvador empleando materias primas locales. Existen cuatro fábricas de aceites vegetales, que operan todavía con materias primas importadas (soya, palma, maíz, girasol). Según el representante del MAG, en los años setenta El Salvador llegó a tener alrededor de 300.000 ha de siembra de algodón; actualmente, no existen más de 1.200 ha de algodón.

Los aceites vegetales usados para alimentación son provenientes de importaciones. El cuadro 60 resume las importaciones de aceites a El Salvador. Los datos presentados muestran como varió la oferta de aceites con importantes cambios, el incremento en el uso de oleína de palma y de aceite de girasol, la reducción en el uso de aceite de soya, y los volúmenes totales, que son muy elevados en los años 2004 y 2005. Es importante observar cómo los precios promedios por tonelada de los aceites de palma, soya y oliva aumentaron en el periodo considerado, los aceites de girasol y maíz oscilaron sin tendencia clara y el aceite de canola disminuyó de precio. Todos los demás aceites, aunque para fines industriales, están agrupados como "otros".

Cuadro 60

EL SALVADOR: IMPORTACIONES DE ACEITES VEGETALES

	Palma	Soya	Girasol	Canola	Maíz	Oliva	Otros	Total
2002								
1000 US\$	2 638	8801	20	748	455	232	1 344	14 238
toneladas	5 316	1 8315	23	390	301	87	2 658	27 090
US/ton	496	481	870	1 918	1 512	2 667	506	
2003								
1000 US\$	7 297	6089	29	971	289	375	2 528	17 578
toneladas	12 197	10 109	36	675	236	100	2 518	25 871
US/ton	598	602	806	1 439	1 225	3 750	1 004	
2004								
1000 US\$	17 888	5 784	316	1 482	662	489	4 337	30 958
toneladas	27 283	7 268	332	1 048	465	127	3 835	40 358
US/ton	656	796	952	1 414	1 424	3 850	1 131	
2005								
1000 US\$	21 206	6 401	1 102	362	504	912	3 688	34 175
toneladas	35 108	10 090	1 398	477	409	206	3 658	51 346
US/ton	604	634	788	759	1 232	4 427	1 008	

Fuente: MAG/DGEA, 2007, elaboración propia.

Las exportaciones de aceites vegetales en bruto para los años 2004, 2005 y 2006 son reportadas por el MAG/DGEA como productos importados y después re-exportados. Para el año 2005 se exportaron alrededor de 29 mil toneladas de aceites vegetales.

El Cuadro 61 presenta información sobre el área de siembra de las oleaginosas. Aunque no exista la producción de aceite de estos cultivos, el cuadro indica potenciales materias primas para biodiesel si las condiciones económicas fueran propicias. El maíz, que es uno de los granos básicos de alimentación y en el cual el país aún es deficitario, es la única siembra con grandes extensiones de cultivo. El ajonjolí y el marañón, a pesar de poder producir aceites vegetales, encuentran hoy buenos precios para la propia semilla, y el aceite producido por ellos tiene precios elevados. Los cultivos que podrían atender las condiciones económicas para actuar como materia prima de biodiesel en El Salvador, por sus características, son el algodón y la copra del coco. El área cultivada con coco es de alrededor de 3.900 hectáreas; la Cooperativa El Jobal (Isla Espiritu Santo, Usulután) es la única empresa en Centroamérica que exporta el aceite de copra.

Cuadro 61

EL SALVADOR: PRODUCCION DE OLEAGINOSAS CON POTENCIAL DE PRODUCCION DE ACEITES

	Superficie – 1000 hectáreas		
	2004/2005	2005/2006	2006/2007
Maíz	231,4	244,0	238,0
Coco	4,3	4,3	4,6
Ajonjolí	2,2	2,4	2,5
Marañon	2,2	2,3	2,5
Algodón	2,1	2,3	2,4

Fuente: MAG, 2007, comunicación personal.

El MAG busca empezar investigaciones de campo para producción de semillas de higüerillo y de tempate (piñón, o *Jatropha curcas*). Para desarrollar estos cultivos, los suelos marginales (>320.000 ha) y los pastos y matorrales (>560.000 ha) deben ser escogidos, pues el país necesita las áreas de mejor productividad para otros cultivos alimenticios (Hayem, 2006). Ya se establecieron cinco parcelas de dos a tres hectáreas con tempate en diversas zonas del país, para estudiar y desarrollar el manejo del cultivo (clima, suelos, plagas, enfermedades, variedades, rendimientos). Para el higüerillo, cinco parcelas de una manzana cada una (0,7 ha) fueron desarrolladas con tres variedades diferentes, con el mismo propósito. El MAG aún gestiona la siembra de 1.000 ha de tempate e higüerillo para producir semillas necesarias a la expansión de los cultivos en larga escala.

El tempate ya es muy conocido en Centroamérica por su empleo como cerca viva. El ganado no la consume por su toxicidad y sus ramas son de mala combustión por lo que no se utilizan como leña. Estas características la hacen muy buena para reforestación y para la conservación de suelos. Su empleo hasta el momento no contemplaba la obtención de aceite o semillas, así que se debe desarrollar su cultivo para esos fines. El tempate empieza a producir semillas entre uno y dos años, obtiene su mayor producción alrededor de los cinco años y vive entre 30 y 50 años. Para mayores detalles sobre la *Jatropha*, véase Heller (1996).

3. Matriz energética y mercado de hidrocarburos

El Salvador posee los indicadores energéticos presentados en el cuadro 62. La capacidad instalada de producción de electricidad está dividida en unos 422 MW hidroeléctricos, 161 MW geotérmicos, 52 MW de co-generación por biomasa y 501 MW de termoeléctricas (datos SIEE/OLADE 2004). El director de la DEE/MINEC informó que para el año 2006, la generación eléctrica geotérmica fue alrededor del 25% del consumo con reducción de importancia de la generación termoeléctrica.

Cuadro 62

EL SALVADOR: INDICADORES ENERGETICOS

Indicador energético	Valor	Unidad
Consumo total de energía	23 114	Miles de BEP
Consumo de electricidad	4 839	GWh
Capacidad eléctrica instalada	1 136	MW
Grado de electrificación	87	%
Consumo de derivados de petróleo	14 259	Miles de barriles
Capacidad de refinación de petróleo	44 000	Barriles / día
Consumo total de energía per cápita	3,5	BEP / cápita
Consumo de electricidad per cápita	729	kWh / cápita
Consumo de hidrocarburos per cápita	2,1	BEP / cápita
Intensidad energética promedia	2,0	BEP / millones de US\$

Fuente: SIEE/OLADE 2004.

Con relación a los hidrocarburos, el país no posee producción propia de petróleo, pero cuenta con una refinería privada con capacidad para procesar hasta 44.000 barriles de petróleo por día. La producción interna de derivados todavía no es capaz de suplir el consumo; aunque para el fuel oil, la capacidad interna es casi suficiente (91%). El cuadro 63 presenta el balance de derivados de petróleo para el año 2005, para el gas licuado de petróleo, gasolina, kerosina o jet fuel y diesel, las importaciones son elevadas. Para el rubro "Otros", la suma del consumo con las exportaciones es mayor que la producción y no se reportan importaciones, lo cual indica probable reducción de existencias en el depósito.

El consumo de gasolinas y diesel para los años 2004 a 2006 están indicados en el cuadro 64. En el caso de las gasolinas, alrededor de 93% de la especial y 87% de la regular fueron comercializadas por medio de estaciones de servicio; para el diesel, alrededor del 62% fueron comercializados por estaciones de servicio y el resto directamente de las distribuidoras mayoristas para consumidores industriales.

Cuadro 63

EL SALVADOR: BALANCE DE DERIVADOS DE PETROLEO, 2005
(En miles de barriles)

	Producción	Importación	Consumo	Exportación	Prod/cons %	Imp/cons %
GLP	192	2 583	2 182	651	9	118
Gasolinas	947	2 473	3 447	52	27	72
Kero / Jet	415	458	919	0	45	50
Diesel	1 447	2 999	4 625	109	31	65
Fuel oil	2 904	1 175	3 190	247	91	37
Otros	202	0	199	31	101	0

Fuente: CEPAL, 2006, L738.

Cuadro 64

EL SALVADOR: VENTAS TOTALES DE GASOLINA Y DIESEL, 2004-2006

Producto	2004		2005		2006	
	1000 gal	1000 l	1000 gal	1000 l	1000 gal	1000 l
Gasolina Especial	59 775	226 273	55 103	208 587	54 663	206 922
Gasolina regular	88 725	335 861	89 407	338 442	93 290	353 141
Diesel	194 460	736 111	194 011	734 411	207 359	784 939

Fuente: DHM/MINEC 2007, comunicación personal.

Con relación a los precios al consumidor, el sitio de la DHM/MINEC en Internet proporciona datos interesantes. El “sondeo semanal de precios” (www.minec.gob.sv) presenta los precios de los productos en cada gasolinera, para todo el país. La divulgación de precios por internet es aún más importante porque el país tiene precios libres para los derivados de petróleo con excepción del gas licuado de petróleo para uso doméstico que tiene su precio definido por el gobierno. En el sondeo de la semana iniciada el 05/03/2007, los precios al consumidor para gasolina especial estaban en el rango de US\$ 2,74 a US\$ 3,07; para la gasolina regular, entre US\$ 2,50 y US\$ 2,79; para el diesel, entre US\$ 2,32 y US\$ 2,59. El rango de valores puede variar al escogerse regiones específicas del país. La DHM/MINEC hace el acompañamiento de los precios de paridad de importación y de facturación de las distribuidoras mayoristas a las estaciones de servicio. El cuadro 65 presenta los precios internacionales fob Golfo y de facturación para estaciones de servicio de las gasolinas y del diesel. Estos precios no incluyen el IVA del 13%.

Cuadro 65

EL SALVADOR: PRECIOS DE FACTURACION PARA ESTACIONES DE SERVICIO

(Del 26/12/2007 hasta 01/01/2007)

Precios	Gasolina Especial		Gasolina regular		Diesel	
	US\$ / gal	US\$/litro	US\$ / gal	US\$/litro	US\$ / gal	US\$/litro
Internacional FOB	1,7805	0,4704	1,6475	0,4352	1,6732	0,4420
Esso	2,4847	0,6564	2,3134	0,6111	2,0624	0,5448
Shell	2,5814	0,6819	2,5610	0,6765	2,2819	0,6028
Texaco	2,5180	0,6652	2,2610	0,5973	2,0370	0,5381
Puma	3,0280	0,7999	2,8880	0,7629	2,1670	0,5725

Fuente: DHM/MINEC 2007.

En El Salvador existen varios tributos que gravan el petróleo y sus derivados. El impuesto de importación para petróleo y derivados es del 1% sobre el valor CIF. La Alcaldía de Acajutla tiene impuestos municipales que se aplican a la refinería (por capacidad de tanques y por volumen de producción de cada tipo de derivado) y a las terminales de importación (por capacidad de tanques). El IVA para todos los combustibles es del 13% sobre el precio final.

Además, existen dos recargos, el FEFE (US\$ 0,159/gal) que se aplica solamente a las gasolinas y existe para cubrir el subsidio del gas licuado de petróleo para consumo doméstico y el FOVIAL (US\$ 0,20/gal) que se aplica al diesel y a las gasolinas (excepto la de aviación), que se destina al mantenimiento periódico y rutinario de la red vial. Los recargos se aplican también a mezclas de gasolinas o de diesel.

4. La producción actual de biodiesel

En El Salvador existen hoy dos plantas para producción de biodiesel, una planta piloto de pequeña capacidad y una planta industrial de capacidad mediana a grande (en fase final de montaje en febrero de 2007).

La planta piloto fue donada por la Alianza para la Energía y el Ambiente en Centroamérica (AEA) con fondos finlandeses y está ubicada en la empresa Sociedad Industrial de Aceite de Ricino que ya producía aceite de ricino en pequeña escala. Los equipos llegaron a El Salvador en diciembre del 2005 y están integrados por una prensa tornillo para 135 kg/h de semillas y una planta piloto para convertir el aceite en biodiesel con capacidad para 400 litros/día. El reactor tiene capacidad de 200 litros y opera por bateadas y un tanque decantador de 200 litros proporciona la separación de las fases biodiesel y mezcla de glicerina. El sistema tiene un tanque para la recuperación de metanol y bombas de circulación y sistema de filtrado con una bomba de vacío para garantizar la calidad del producto. A pesar de estar destinada a procesar semillas de higüerillo, la prensa tornillo no es capaz de extraer el aceite de las semillas. Se intentó con tempate y los resultados tampoco fueron mejores. Para hacer la prueba de la producción de biodiesel, se empleó el aceite de palma comercial con buenos resultados.

La planta piloto procesó seis lotes de aceites diversos con la finalidad de realizar pruebas con aceites de cocina reciclados, aceite de soya con gran porcentaje de ácidos grasos libres y aceite de pescado. El biodiesel producido fue vendido en la región en el rango de US\$ 2,40 a US\$ 2,70 por galón cuando los precios del diesel estaban en su mayor precio en el año 2006.

La Corporación Salvadoreña de Inversiones (CORSAIN) construyó una planta de producción de biodiesel en el Cantón San Nicolás, Sonsonate. En febrero de 2007, la planta estaba en fase de montaje de los equipos y conexión de tuberías y controles de proceso. La capacidad de producción es de 10.000 galones (37.850 litros) de biodiesel por día y las inversiones están en alrededor de US\$ 2 millones. La tecnología de la planta fue adquirida de Argentina.

El problema de obtener materias primas a costos razonables es lo que preocupa a la administración de la planta, la cual deberá empezar las pruebas de producción con aceite de palma importado. Para el futuro, la CORSAIN pretende usar el tempate.

5. Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación

La Ley del Medio Ambiente (Decreto n.233, del 04/05/1998) presenta varios principios para la Política Nacional del Medio Ambiente (Art. 2), dentro de los cuales se destacan los siguientes que se articulan con el uso de combustibles renovables: a) los habitantes tienen derecho a un ambiente sano y equilibrado; b) se deberá asegurar el uso sostenible, disponibilidad y calidad de los recursos naturales, como base del desarrollo sostenible. Los planes de desarrollo y ordenamiento territorial también deben incorporar la dimensión ambiental (Art. 15). El gobierno podrá elaborar programas de incentivos ambientales para facilitar la reconversión de procesos y actividades contaminantes (Art.32) como es el caso del uso de los combustibles fósiles. De cualquier forma, el aprovechamiento de los recursos naturales renovables deberá asegurar la sostenibilidad del mismo (Art.65). Finalmente, en el Art. 75 se menciona que la conservación y la recuperación de suelos debe ser un criterio para el manejo de tierras.

Con relación a acuerdos internacionales, en la XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y Caribe, realizado en Panamá en noviembre de 2003, los países presentes aprobaron la Plataforma de Brasilia que proyecta un 10% del consumo de energía a partir de fuentes renovables, y los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

Desde el punto de vista de la calidad del biodiesel, el subgrupo de Hidrocarburos de la Región Centroamericana aprobó en noviembre de 2006 el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:06 que define las especificaciones del biodiesel (B100) y sus mezclas con aceite combustible diesel. Para volverse oficial, este Reglamento debe ser ratificado por una resolución del Consejo de Ministros de Integración Económica (COMIECO). Desde el punto de vista técnico, el Reglamento propuesto es muy sólido combinando las especificaciones de Estados Unidos (ASTM D 6751-06) y de la Unión Europea (EN 14214:2003) y haciendo que la calidad mínima del biodiesel no traiga ningún problema a los consumidores. Otro problema a resolver es el desarrollo en El Salvador de laboratorios capaces de realizar los ensayos de propiedades de las Especificaciones RTCA 75.02.43:06 para certificar la calidad del producto.

Según la DHM/MINEC y debido a que no existe aún una Ley para uso de Biocombustibles, es necesario obtener varias definiciones de naturaleza política y aprobar reglamentos para que el biodiesel pueda ser comercializado en las estaciones de servicio. Por ejemplo: ¿el biodiesel deberá estar ya mezclado con el diesel de petróleo o deberá usar tanques y suministradores propios (B100) como en Alemania? ¿Si en mezcla, en qué porcentaje? ¿Cómo garantizar el porcentaje de biodiesel presente en la mezcla? ¿Cómo garantizar la calidad del biodiesel a ser mezclado con el diesel para que no ocurran problemas con los vehículos?

6. Escenarios para producción de biodiesel

En todos los contactos efectuados con órganos de gobierno resultó claro que la producción de biodiesel es considerada interesante y estratégica para El Salvador. Se considera importante diversificar la estructura de la matriz energética para reducir la vulnerabilidad a factores externos en el mercado de petróleo y derivados. La producción de biodiesel podrá contribuir para el

aumento del uso de las energías renovables e impulsar el desarrollo de la agricultura en suelos marginales u ociosos.

Las especies consideradas, semillas de higüerillo y de tempate, deben ser rústicas y capaces de producir en tierras de baja calidad. El tempate tiene como ventajas ser una especie nativa de América Central y ser empleado para hacer cercas vivas. Ya es conocido por los agricultores, no es comestible, es resistente a sequías, no es exigente en cuanto al tipo de terreno y su semilla posee alrededor de 38% de aceite. Por otro lado, como hasta la fecha no ha sido cultivado con método, su manejo, selección de variedades, adaptación para mayor productividad de frutos y mayor cantidad de aceite en las semillas, aún no son desarrolladas de modo suficiente. La experiencia desarrollada en Nicaragua para obtener biodiesel del tempate (proyecto EMAT, de 1997 no tuvo buenos resultados. Hoy, los países buscan aprender con los problemas del proyecto de Nicaragua para superar las dificultades encontradas en aquel país.

a) Evaluaciones anteriores

Un estudio conducido por la Compañía Azucarera Salvadoreña (Marroquin R., 2005) realizó una evaluación económica de un proyecto de producción de biodiesel de tempate con dos escenarios de costo del biodiesel: a US\$ 5,00 por kg o a US\$ 0,78 por kg. El precio del tempate se estableció en US\$20 por tonelada. Con el precio más elevado, todos los indicadores económicos presentan viabilidad (valor actual neto, tasa interna de retorno). El segundo precio es necesario para que exista competencia con el diesel de petróleo y, en este caso, todos los indicadores económicos son negativos y el informe concluye que el proyecto no es viable.

En el texto de Harem, 2006 se produjo una evaluación económica preliminar para un proyecto de planta de biodiesel usando el tempate. Se empleó como hipótesis que se obtendrían 400 galones de biodiesel, 1.600 kg de harina de tempate y 100 kg de glicerina por hectárea de siembra de tempate. Se supuso también que la harina de tempate podría ser empleada para alimentación animal (toxicidad eliminada) y valorada como la harina de soya (US\$ 200 por tonelada) y que la glicerina producida será comercializada a US\$ 0,53 por kilogramo. Para el biodiesel, el texto propuso US\$ 2,84 por galón y entonces se evaluaron los ingresos por hectárea en US\$ 1.362. Los impactos positivos y negativos en el ambiente fueron mencionados. Desde el punto de vista social se resaltó la creación de empleos, ayudando a fijar poblaciones en el campo y proporcionando mayor período de empleo: las culturas tradicionales de caña y café emplean mano de obra por cuatro o cinco meses y el tempate alargaría este período por aproximadamente tres meses más sin competencia con los cultivos tradicionales por mano de obra temporal.

b) Evaluaciones y recomendaciones de este informe

La principal barrera para la penetración del biodiesel en El Salvador es la oferta de materias primas ya que el país no cuenta aún con producción de oleaginosas en gran escala. Según la DHM/MINEC, la producción de biodiesel con aceites vegetales importados tendrá precios muy elevados y esto constituirá una barrera económica. La creación de exenciones fiscales también presenta dificultades pues los ingresos de impuestos son muy importantes para el mantenimiento de los gastos del gobierno, incluso en programas de índole social. El vector ambiental no deberá tener un papel muy relevante frente al potencial de sustitución del diesel de petróleo. Para disminuir la emisión de contaminantes de los motores diesel es muy importante

que los motores tengan tecnología moderna y se mantengan bien calibrados. La calidad del combustible es un efecto secundario y sólo es pertinente cuando los otros factores ya estén listos.

Una evaluación del área de siembra necesaria para atender a un 5% del consumo de diesel en El Salvador se presenta en el cuadro 66 considerando el cultivo de tempate y de higüerillo. Se debe tener en cuenta que los cultivos, ya sea de tempate o de higüerillo, deben ocupar tierras de baja calidad para no hacer competencia con la producción de alimentos u otros productos de exportación que requieren áreas de buena productividad. Como hipótesis para la estimación del área de siembra, se emplearon valores de productividad agrícola e industrial conservadora tanto para el tempate como para el higüerillo: tres toneladas de semillas secas por hectárea por año para el tempate (276 galones de biodiesel por hectárea) y 1,4 toneladas de semillas secas de higüerillo por hectárea (153 galones de biodiesel por hectárea). El rendimiento de extracción de aceite es de 85% en masa y el rendimiento de conversión de aceite en biodiesel es de 95% en masa, y el contenido de aceite en las semillas secas es de 38% para tempate y 45% para higüerillo. Si las productividades son mayores, la viabilidad aumenta. Se tomó como hipótesis que el consumo de diesel crece 4% al año, a partir del consumo observado en el año 2006 (207.359 mil galones o 784.939 mil litros).

Cuadro 66

EL SALVADOR: ESTIMACIONES DE AREA DE SIEMBRA PARA BIODIESEL

		2007	2008	2009	2010	2011
Diesel	millones litros	816,3	848,9	882,9	918,2	955,0
B5	millones litros	40,8	42,4	44,1	45,9	47,7
Área B5 tempate	1000 ha	39,0	40,6	42,2	43,9	45,6
Área B5 higüerillo	1000 ha	70,6	73,4	76,4	79,4	82,6

Fuente: Estimación propia.

Empleando valores usados por el MAG de 1.590 litros por hectárea para el tempate y de 1.320 litros de biodiesel por hectárea para el higüerillo, los límites de áreas cambian para 54.000 a 63.000 hectáreas necesarias para el higüerillo y de 25.700 a 30.000 hectáreas para el tempate. De cualquier manera, las áreas a ser sembradas son grandes y la logística de un proyecto de tal magnitud debe ser bien planeada.

Desde el punto de vista industrial, la tecnología de producción de biodiesel no es muy sofisticada y El Salvador posee condiciones para absorber sin problemas el *know-how* de este nuevo producto.

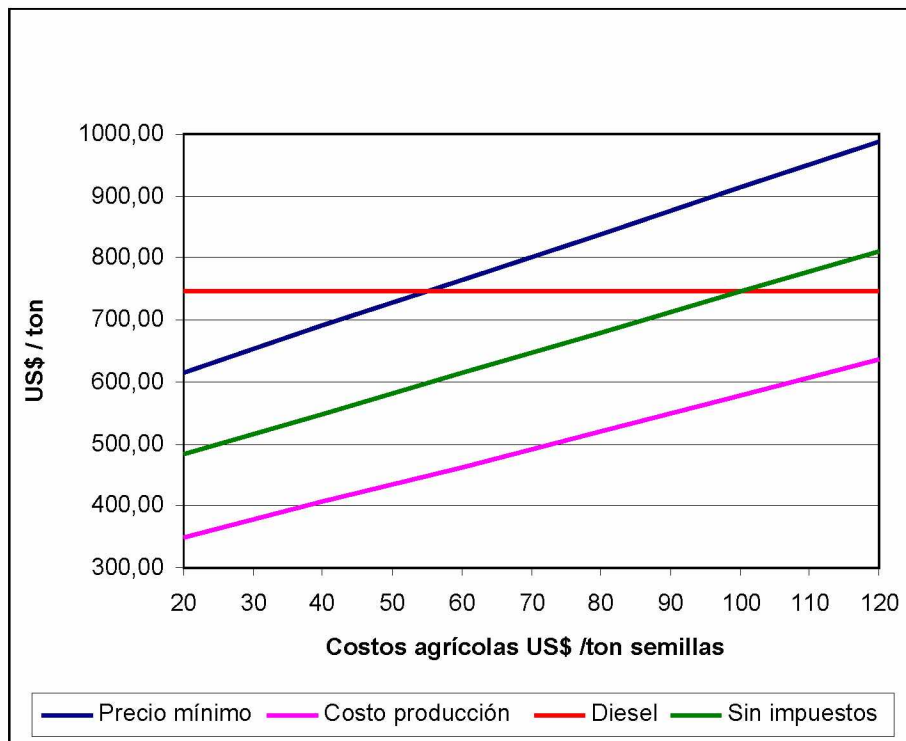
Las principales barreras al biodiesel son de índole económica. A continuación se presentará una evaluación de costos y precios de biodiesel producido a partir de tempate y de higüerillo. En el caso de que la producción de biodiesel dependa de importaciones de aceites vegetales, por distancia, precio y disponibilidad, la opción más evidente es importar el aceite de palma producido en cantidad en Guatemala, Honduras y Costa Rica.

Empleando las hipótesis presentadas en el capítulo III para la determinación de costos y precio mínimo para el biodiesel, se construyeron los gráficos 15 y 16, para el tempate y el higüerillo. Los precios del diesel, los márgenes y la carga tributaria son aquellos identificados para El Salvador y presentados en el punto 3 de este capítulo. El precio mínimo considera el 15% de ganancia para el productor de biodiesel sobre el costo de producción, los márgenes comerciales de distribución y ventas, así como los impuestos Fovial y el IVA. El precio “sin impuestos” supone exención total de los impuestos.

Si las hipótesis hechas para la productividad agrícola se mantienen, el análisis del gráfico 15 indica que el biodiesel de tempate puede tener viabilidad económica incluyendo los impuestos hasta un costo agrícola de alrededor de US\$ 55 por tonelada de semillas secas. En el caso en que existan exenciones totales de impuestos, el costo agrícola puede llegar a ser de hasta US\$ 100 por tonelada de semillas de tempate.

Gráfico 15

EL SALVADOR: COSTOS Y PRECIOS PARA BODIESEL DE TEMPATE

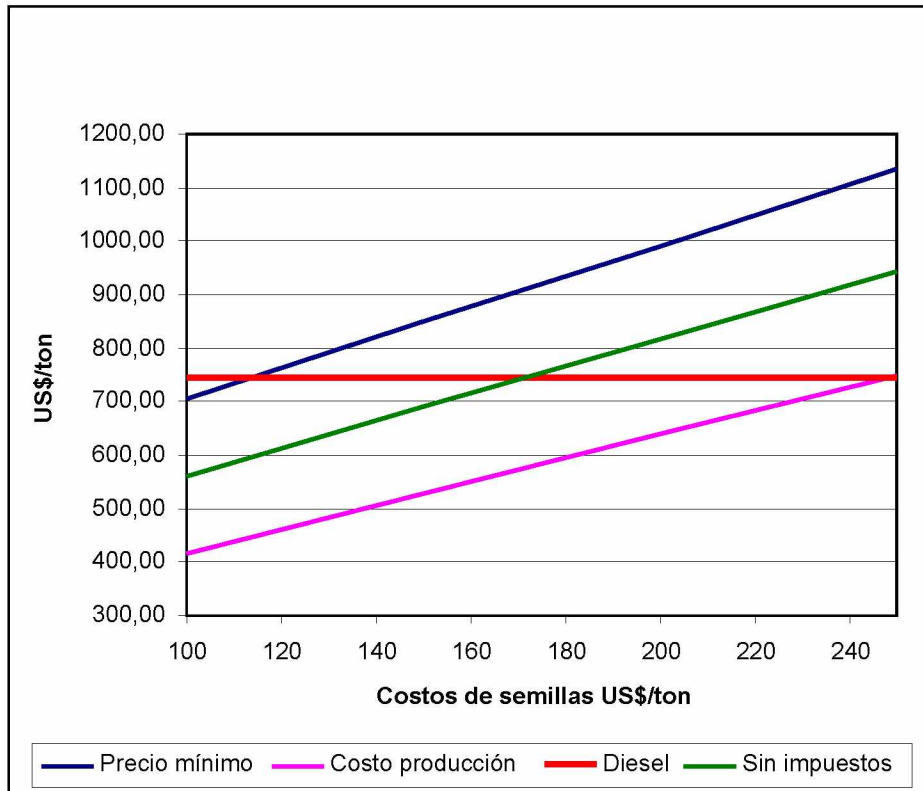


Fuente: Elaboración propia. Datos El Salvador.

En el gráfico 16 se presenta un análisis similar para el caso del higüerillo. En este caso, los resultados son muy dependientes de cómo se hace la valoración de la torta. Los resultados del gráfico 16 consideran que la torta puede ser vendida a un 1/4 del precio de las semillas. Aún con esta hipótesis, es muy difícil obtener la viabilidad del biodiesel de higüerillo.

Para obtener viabilidad del biodiesel con impuestos, el precio máximo de las semillas debe estar en alrededor de US\$ 118 por tonelada. Si las exenciones de impuestos son totales, el costo de las semillas debe estar en un valor máximo de US\$ 172/ton. Para precios de semillas de alrededor de US\$ 245/ton, ni los costos de producción son cubiertos.

Gráfico 16

EL SALVADOR: COSTOS Y PRECIOS PARA BIODIESEL DE HIGÜERILLO

Fuente: Elaboración propia. Datos El Salvador.

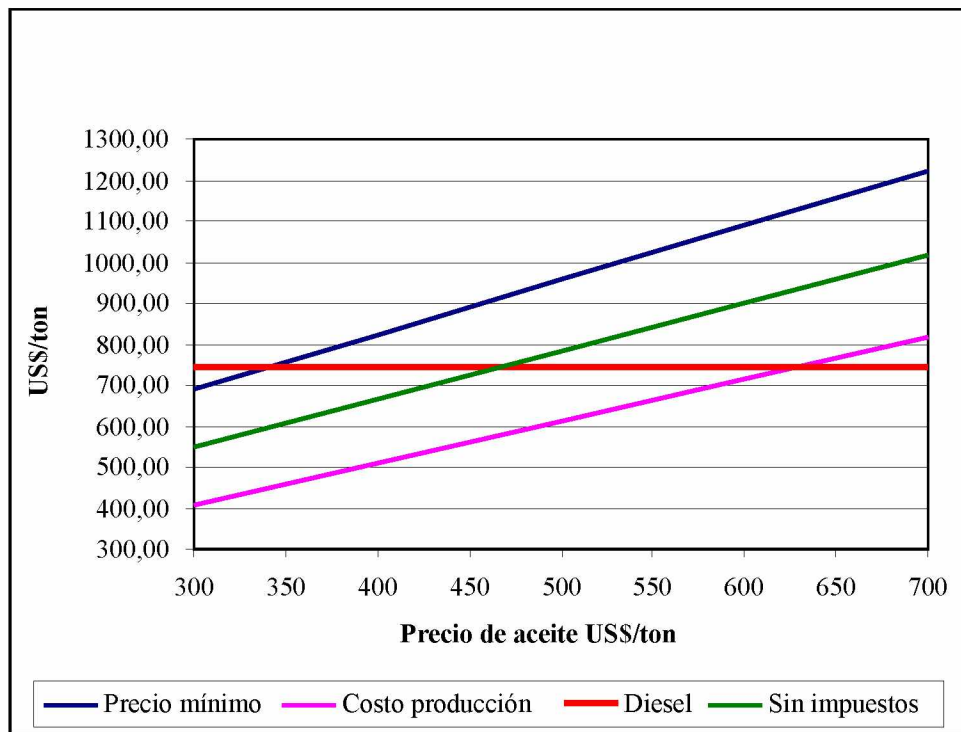
En el caso de importaciones de aceite de palma, los resultados que se obtienen se muestran en el gráfico 17. Para que el biodiesel tenga viabilidad con impuestos, el aceite debe estar a un precio máximo de alrededor de US\$ 340 por tonelada, es decir, muy bajo para los valores de los últimos años. Con exención total de impuestos, el aceite puede tener precios hasta US\$ 470 /ton. Si el aceite tiene precios superiores a US\$ 630/ton, no son cubiertos ni los costos de producción.

Es importante mencionar que los gráficos de arriba deben ser tomados con cautela puesto que traen consigo una serie de hipótesis que, de no ser cumplidas, pueden cambiar valores de precios y costos y afectar de modo importante las conclusiones de su análisis.

Finalmente, como la competencia económica del biodiesel se hace con el diesel de petróleo, es importante tener en cuenta los precios del petróleo y de los hidrocarburos en el mercado internacional. Si los precios del barril de petróleo disminuyen, la viabilidad del biodiesel se ve afectada negativamente y viceversa si los precios del barril suben. De cualquier forma, independientemente de la tendencia de corto plazo de los precios de petróleo, es fundamental que se defina si el biodiesel es importante para la matriz energética y para el desarrollo agrícola o no, y entonces apostar a largo plazo.

Gráfico 17

EL SALVADOR: COSTOS Y PRECIOS PARA BIODIESEL DE PALMA



Fuente: Elaboración propia. Datos El Salvador.

Si el país desea introducir el biodiesel en su matriz, es necesario que se establezca un sistema de control de calidad y certificación del producto para que no ocurran problemas en los motores con impactos sobre consumidores u operadores de flotas. Por seguridad, se aconseja que las mezclas sean de bajos porcentajes de biodiesel al inicio y posteriormente, con el aumento de la experiencia con este nuevo producto, se puede aumentar la proporción de biodiesel en la mezcla.

VI. PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN GUATEMALA

Se presentan las condiciones actuales de Guatemala en relación a la penetración del biodiesel en su matriz energética. Se muestran los datos socio-económicos, agrícolas y de producción de posibles materias primas para el biodiesel y se explican y discuten las barreras actuales. Todas estas condiciones son evaluadas y se analizan escenarios de introducción de este combustible renovable en el mercado de hidrocarburos, en sustitución al diesel de petróleo.

1. Características socio-económicas del país

El país tiene una población de alrededor de 12,7 millones de personas, con la mitad en zonas urbanas y con una densidad de población intermedia. Los indicadores sociales muestran los grandes desafíos a superar: el PIB per cápita aún no es elevado, existe alto porcentaje de pobreza en general y en especial en la zona rural, el porcentaje de la población que vive con menos de dos dólares americanos por día es elevado y creció del 2000 al año 2002. Los gastos públicos sociales como porcentaje del PIB aún son bajos. El cuadro 67 muestra estos indicadores sociales y de uso de tierras.

La ocupación de la tierra muestra que gran parte del suelo está formado por bosques y forestas (36,3%) en áreas protegidas; la superficie restante es usada en áreas de cosecha permanente (5% del total), otras superficies arables (12,5%) y uso para ganadería extensiva (24%) con pocas cabezas de bovinos por hectárea.

El cuadro 68 presenta las condiciones del balance comercial y de la deuda externa del país. El balance comercial es negativo y creciente en todo el período presentado. El saldo de la deuda externa creció hasta el 2004 y se redujo un poco en el último año (2005). Así, el saldo de la deuda externa como fracción del PIB también se redujo del 2004 para el 2005. De los países analizados en este informe, Guatemala es el que posee la menor relación entre deuda externa y el PIB.

Cuadro 67

GUATEMALA: INDICADORES SOCIO-ECONÓMICOS Y DE USO DE TIERRAS

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Población 1 000 personas	11 225	11 501	11 788	12 084	12 389	12 700
PIB per cápita	1 718	1 716	1 712	1 705	1 709	1 720
Población urbana %	43	ND	ND	ND	ND	50
Población rural %	57	ND	ND	ND	ND	50
%pobreza – nacional	ND	ND	60,2	ND	ND	ND
% pobreza – rural	ND	ND	68	ND	ND	ND
% población <2 US\$/día	21,74	ND	32,6	ND	ND	ND
Gasto público % PIB	5,8	6,5	6,3	6,7	6,1	ND
Superficie terrestre – 1 000 ha	10 843	10 843	10 843	10 843	10 843	10 843
Personas / ha	1,04	1,06	1,09	1,11	1,14	1,17
Superficie agrícola – 1 000 ha	4 507	4 507	4 507	4 507	4 507	4 507
Superficie arable – 1 000 ha	1 360	1 360	1 360	1 360	1 360	1 360
Área cosecha permanente - 1000 ha	545	545	545	ND	ND	ND
Área ganadera – 1 000 ha	2 602	2 602	2 602	2 602	2 602	2 602
Bovinos 1 000 cabezas	1 100	1 144	1 173	1 208	1 232	1 257
Cabezas / ha	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48
Área de bosques – 1 000 ha	4 208	ND	ND	ND	ND	3938
Proporción de bosques	38,8	ND	ND	ND	ND	36,3

Fuente: CEPALSTAT: Siagro y Badeinso.

Cuadro 68

GUATEMALA: BALANCE COMERCIAL TOTAL Y DEUDA EXTERNA

Deuda externa	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	2 165	2 549	2 773	3 150	3 609	3 508
(% PIB)	11,2	12,4	11,9	12,8	12,9	10,9
Balance Comercial total	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	-1 707,9	-2 165,3	-2 892,7	-3 183,3	-3 875,0	-4 466,3

Fuente: CEPALSTAT.

2. Características agrícolas del país

a) El uso agrícola de las tierras

El cuadro 69 muestra los cultivos que ocupan mayores extensiones de tierras en Guatemala. Las mayores son de maíz, café, frijol y caña de azúcar, todas con más de 100.000 hectáreas. Tres cultivos no tradicionales y destinados a exportación también se destacan: cardamomos, hule y ajonjolí que ya ocupan más áreas que los cultivos tradicionales como arroz o banano. La palma africana y el ajonjolí son oleaginosas y pueden ser empleadas como materias primas para biodiesel, a pesar que el ajonjolí tiene precios más interesantes en el mercado de semillas.

Cuadro 69

GUATEMALA: MAYORES EXTENSIONES DE TIERRAS PARA COSECHAS
(Miles de hectáreas)

Cosecha	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Maíz	591,9	601,0	601,0	601,0	588,9	577,1
Café	262,3	262,0	262,1	262,1	264,7	267,3
Frijol	215,9	215,9	215,9	215,9	231,8	211,6
Caña de azúcar	165,5	184,9	184,9	184,9	184,9	184,9
Cardamomo	48,9	53,9	62,9	63,6	68,5	69,2
Hule (caucho)	34,7	38,2	38,2	40,9	45,0	51,8
Ajonjolí	48,9	52,4	50,3	50,3	48,3	43,3
Banano	39,4	35,4	36,6	36,6	37,0	37,3
Palma africana	23,5	27,4	31,0	31,0	31,0	31,0
Sorgo	26,0	26,0	26,0	26,2	26,6	26,9
Papa	12,6	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Melón	6,9	11,9	13,0	13,1	13,3	13,6
Arroz	11,9	11,9	11,9	12,2	12,2	12,2
Plátano	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Mango	8,5	11,7	11,7	11,8	11,8	11,9
Tomate	6,6	6,3	7,0	7,0	9,2	9,2
Aguacate	5,5	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
Tabaco	9,8	8,4	7,8	7,7	7,1	7,0

Fuente: Banco de Guatemala, 2006

b) Producción, importación y consumo aparente de alimentos básicos

El cuadro 70 presenta la producción agrícola de Guatemala para granos básicos y los productos principales de exportación (bananos, café, caña de azúcar y palma africana). La producción de frijol y maíz están en crecimiento mientras los demás granos están con producción estable; además, existe una pequeña producción de trigo. En el caso de los principales productos de exportación, la producción está estable o crece, como en el caso de la producción de caña de azúcar y de palma africana. La productividad (toneladas por hectárea) de arroz es baja, frente a otros países de Centroamérica; las productividades de frijol, maíz y sorgo son razonables; la productividad de la caña de azúcar es la mayor de toda región y muy buena en términos absolutos y la baja productividad de la palma africana puede ser causada por la edad promedia de las fincas ya que muchas fincas aún no están maduras para producir más de 20 toneladas por hectárea.

Los datos de importaciones de granos básicos para el país se indican en el cuadro 71. La producción local no es capaz de atender toda la demanda. Los precios efectivos para importaciones de arroz y trigo son menores que los precios internacionales de referencia. Para el maíz, los precios están arriba de los precios internacionales de referencia para el período en que se tienen datos.

Cuadro 70

GUATEMALA: PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE GRANOS Y PRODUCTOS DE EXPORTACIÓN

(Miles de toneladas)	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz	44,5	45,7	32,4	35,4	35,4	35,4
Ton / ha	2,78	3,81	2,70	2,95	2,89	2,89
Frijol	92,3	169,0	170,4	183,2	189,0	187,1
Ton / ha	0,72	0,78	0,79	0,85	0,87	0,87
Maíz	1 068,4	1 241,6	1 259,3	1 278,3	1 298,8	1 395,4
Ton / ha	1,81	2,09	2,09	2,12	2,16	2,37
Sorgo	44,2	35,9	36,9	37,8	39,6	41,21
Ton / ha	1,31	1,38	1,42	1,45	1,51	1,55
Trigo	9,2	6,3	2,7	2,9	3,1	3,1
Ton / ha	2,02	2,57	1,89	2,02	2,04	2,1
Banano	829,94	1 624,94	1 848,89	1 743,59	1 812,18	1 830,3
Ton / ha	45,60	41,15	52,25	47,55	49,42	49,42
Café	245,21	264,79	243,94	267,51	268,62	241,76
Ton / ha	0,90	1,01	0,93	1,02	1,02	0,91
Caña de Azúcar	15 179,19	16 900,24	16 623,87	17 780,56	18 136,17	18 498,89
Ton / ha	91,55	91,24	89,75	96	97,92	99,88
Palma Africana	296,8	248,0	271,1	285,7	289,7	289,8
Ton / ha	15,59	10,52	9,89	9,2	9,33	9,32

Fuente: CEPALSTAT – Siagro

Cuadro 71

GUATEMALA: IMPORTACIONES AGRÍCOLAS

Volúmenes y precios	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz 1000 ton	43,34	45,13	80,87	58,66	80,92	91,07
efectivo US\$ / ton	175,46	190,82	141,85	186,76	399,66	233,77
Internac. ^a US\$ / ton	265,80	205,80	222,40	248,80	270,00	308,60
Frijol 1 000 ton	6,54	5,03	7,74	8,00	6,68	7,83
efectivo US\$ / ton	559,01	706,52	858,70	1469,57	486,27	291,46
Internac. ^a US\$ / ton	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Maíz 1 000 ton	517,29	522,52	605,39	538,71	559,11	661,57
efectivo US\$ / ton	111,20	112,15	121,14	127,90	150,35	133,44
Internac. ^a US\$ / ton	72,00	74,25	82,43	ND	ND	ND
Trigo 1 000 ton	404,99	413,23	475,27	432,92	444,21	487,42
efectivo US\$ / ton	161,07	171,43	174,71	191,32	196,75	195,45
Internac. ^a US\$ / ton	114,00	126,80	148,50	146,10	156,90	152,40
Carne 1 000 ton	5,15	10,60	6,67	5,21	3,74	3,06
Internac. ^a US\$ / ton	1 932	2 124	2 119	2 129	2 508	2 611

Fuente: CEPALSTAT – Siagro

a/ fob Golfo

El consumo aparente de los granos básicos se presenta en el cuadro 72, cuya fuente es la CEPALSTAT - SIAGRO. El consumo aparente se determinó por la producción local más las importaciones y deduciendo eventuales exportaciones. Se indica el grado de dependencia de cada grano, así como la producción neta y el consumo per cápita. Para el sorgo, el grado de dependencia es casi nulo mientras que para el frijol es pequeño, alrededor del 8%. Para maíz, el grado de dependencia es mayor y creciente, llegando a casi 45% en 2005. En el caso de arroz, la dependencia es muy alta, alrededor del 78%. En el caso del trigo, la dependencia es casi total ya que este cultivo no es tradicional de países con condiciones de suelos y climas como los de Centroamérica.

Cuadro 72

CONSUMO APARENTE Y GRADO DE DEPENDENCIA DE IMPORTACIONES

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz limpio						
Consumo aparente - 1000 ton	70,24	58,68	107,95	79,76	102,44	116,39
Grado de dependencia - %	61,7	76,91	74,92	73,55	78,99	78,25
Producción neta per cápita - kg/año	2,51	1,33	2,39	1,85	1,81	2,25
Consumo por habitante - kg/año	6,26	5,1	9,15	6,6	8,27	9,16
Frijol						
Consumo aparente - 1000 ton	89,32	90,26	94,14	94,86	85,59	90,89
Grado de dependencia - %	7,32	5,57	8,22	8,43	7,81	8,61
Producción neta per cápita - kg/año	7,4	7,44	7,33	7,22	6,68	6,72
Consumo por habitante - kg/año	7,96	7,84	7,98	7,85	6,91	7,16
Maíz						
Consumo aparente - 1000 ton	1 365,7	1 359,8	1 451,0	1 393,8	1 421,1	1 483,88
Grado de dependencia - %	37,88	38,43	41,72	38,65	39,34	44,58
Producción neta per cápita - kg/año	76,14	73,31	72,24	71,18	69,8	65,1
Consumo por habitante - kg/año	121,66	118,18	123,03	115,3	114,7	116,84
Sorgo						
Consumo aparente - 1000 ton	50,18	50,752	50,111	50,145	49,882	ND
Grado de dependencia - %	0,458	0,199	0,413	0,266	0,154	ND
Producción neta per cápita - kg/año	4,517	4,451	4,256	4,157	4,056	ND
Consumo por habitante - kg/año	4,47	4,411	4,249	4,148	4,026	ND
Trigo						
Consumo aparente - 1000 ton	411,63	412,13	480,06	440,64	449,27	494,45
Grado de dependencia - %	98 387	100 266	99 003	98 246	98 874	98 578
Producción neta per cápita - kg/año	0,656	0,4	0,624	0,792	0,743	0,714
Consumo por habitante - kg/año	36 669	35 819	40 705	36 453	36,26	38 934
Carne bovina						
Consumo aparente - 1000 ton	65,8	68,2	67,2	ND	ND	ND
Producción neta per cápita - kg/año	5,52	5,39	5,34	ND	ND	ND
Consumo por habitante - kg/año	5,86	5,93	5,7	ND	ND	ND

Fuente: CEPALSTAT – Siagro.

El consumo per cápita de frijol y maíz es casi estacionario o levemente decreciente. Para el arroz y el trigo, la tendencia es de crecimiento de consumo. Con respecto al consumo de carne, la producción local per cápita es casi igual al consumo per cápita, es decir, el país posee una muy pequeña dependencia de importaciones.

En reunión con representantes del MAGA, la cuestión de la dependencia de maíz fue aclarada, de hecho, Guatemala es casi auto-suficiente en maíz blanco, la variedad utilizada para alimentación humana en el país. Las importaciones son en su gran mayoría de maíz amarillo, usado para fines industriales (aceite mazola, concentrados, etc.).

c) **Productos exportados de cobertura agrícola**

Información del Banco de Guatemala sobre las principales exportaciones agrícolas se indica en el cuadro 73, organizadas en orden decreciente de importancia económica. El café es el principal rubro de exportaciones; aunque el área de siembra no sea la mayor, como se muestra en el 69, los precios promedios de exportación y la productividad por hectáreas son elevados. La alta productividad por hectárea también explica la importancia de los bananos y del azúcar. Destacan los productos no tradicionales como hule y cardamomo que poseen precios de exportación relativamente altos.

Cuadro 73

GUATEMALA: PRINCIPALES EXPORTACIONES AGRÍCOLAS

	2003		2004		2005	
	1 000 ton	1 000 US\$	1 000 ton	1 000 US\$	1 000 ton	1 000 US\$
Café	249,6	299 300	208,3	327 927	201,3	463 087
Banano	936,1	209 982	1 058,2	229 699	1 128,5	238 100
Azúcar	1 386,5	212 273	1 154,6	188 027	1 287,0	236 580
Hule	53,2	43 325	66,8	71 260	70,0	80 875
Cardamomo	28,6	78 885	28,6	73 830	31,7	70 370
Melón	211,1	62 582	203,0	59 333	218,8	63 781
Ajonjolí	30,7	27 459	22,2	22 891	28,3	26 917
Tabaco	8,9	23 790	10,2	29 618	9,7	26 283
Plátano	84,4	24 748	66,3	19 478	97,8	23 042

Fuente: Banco de Guatemala, 2006.

d) **La producción de oleaginosas y aceites vegetales: palma africana**

En Guatemala hubo producción de aceite de algodón en la década de setenta, pero la producción de algodón y de su aceite cayó en la década siguiente. Actualmente, la producción de algodón es casi nula. Para aceites comestibles, se hacen importaciones de otras especies (soya, girasol, maíz amarillo). El consumo de aceite de palma viene creciendo en Guatemala y en toda América Central sustituyendo otros aceites vegetales.

La producción de palma africana en Guatemala empezó alrededor del año 1985 y hoy ya se produce casi 290.000 toneladas por año. El país es auto suficiente en oleínas y estearinas y el principal mercado de exportación es México. Las semillas de palma son importadas y son de diferentes tipos. Los datos históricos de producción de palma están en el cuadro 74. El área de siembra de palma para el 2006 se estimó en alrededor de 45.000 hectáreas, la mitad en

producción y la otra parte aún en fase de crecimiento y maduración. Según datos del MAGA, la participación porcentual de los Departamentos en la producción es de: 43% en Izabal, 23% en San Marcos, 23% en el Petén y 8% en Escuintla.

Cuadro 74

GUATEMALA: PRODUCCIÓN DE PALMA AFRICANA (frutos)

		2000	2001	2002	2003	2004	2.005
Producción	1 000 toneladas	296,8	248,0	271,1	285,7	289,7	289,8
Área de siembra	1 000 ha	19,0	23,6	27,4	31,1	31,1	31,1
Rendimiento en frutos	Ton / ha	15,59	10,52	9,89	9,19	9,33	9,32
Aceite de palma	1 000 toneladas						90

Fuente: CEPALSTAT - Siagro

Tanto los productores de biodiesel (véase adelante) como los representantes del MAGA a quienes se contactó son unánimes en señalar al tempate¹ como una materia prima adecuada para la producción de biodiesel por sus posibilidades de productividad, capacidad de utilizar suelos menos nobles y no hacer competencia con la producción de alimentos. Resultados de estudios agrícolas realizados por una empresa productora de biodiesel están descritos en un Informe (Asturias, 2006 a). La experiencia infructífera de producción de biodiesel de tempate que ocurrió en Nicaragua está siempre presente y se busca aprender de los problemas prácticos ocurridos en aquel país. Es necesario definir el correcto manejo del cultivo de *Jatropha*, determinar su real productividad, hacer selección de variedades, estudiar los problemas de plagas y enfermedades, etc. El MAGA ya hizo un levantamiento de las áreas potenciales para el cultivo de *Jatropha*, teniendo en cuenta las características y calidad del suelo, el clima y disponibilidad de tierras ociosas u ocupadas con ganadería, que se reproduce en la figura 11.

e) La extracción del aceite de palma²

La mayor empresa productora de aceite de palma posee fincas propias pero la expansión de siembras más reciente se ha hecho por contrato con productores independientes de palma (alrededor de 500 hectáreas de incremento por año) que en general sustituyen áreas de ganadería por siembras de palma.

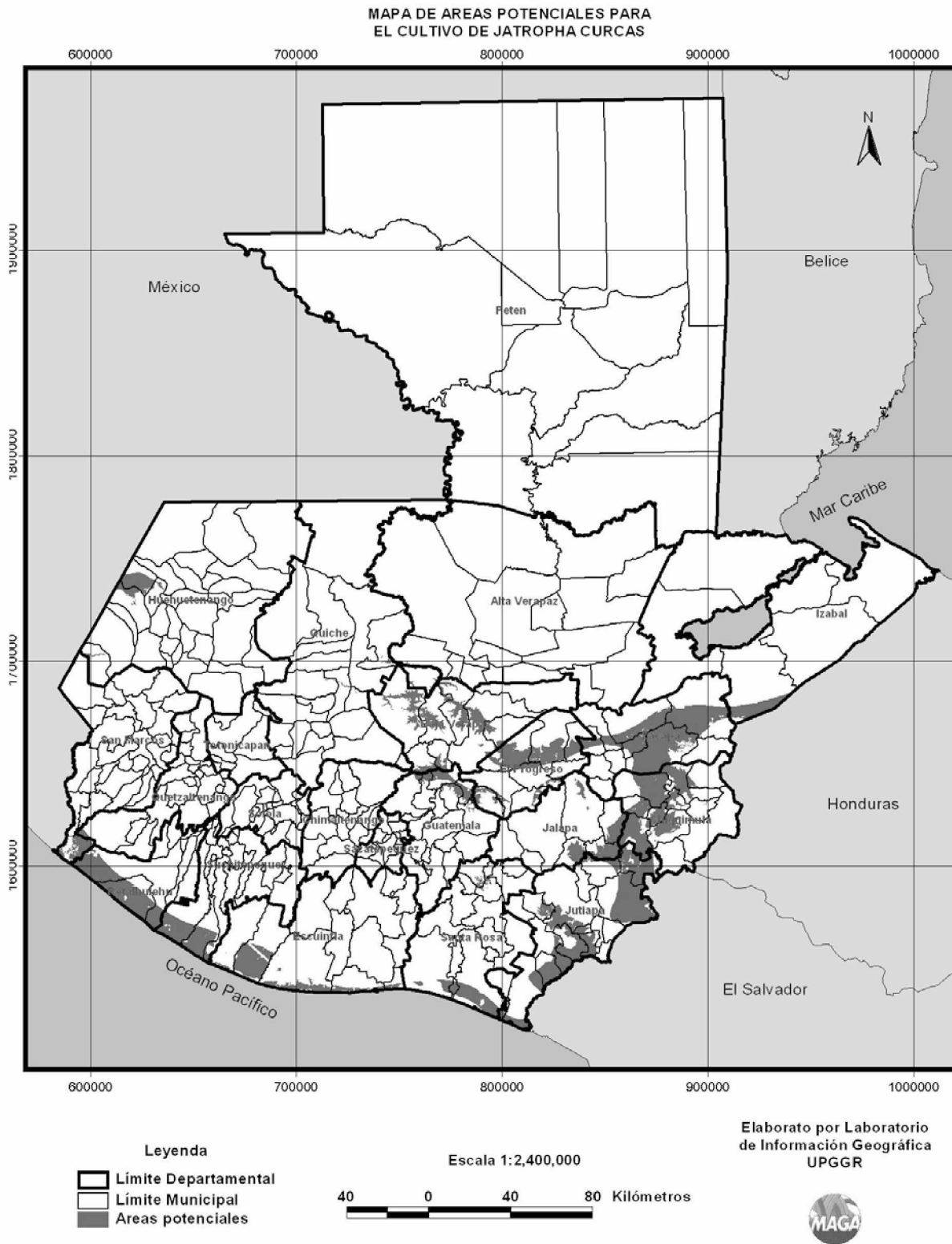
La industria extractora de aceite de palma produce el aceite crudo (CPO), refina el crudo en estearinas y oleínas y produce el aceite de almendra de palma (palm kernel oil – PKO) y harina de almendra para alimentación animal. La mayor planta extractora está ubicada en Izabal, tiene capacidad actual para procesar hasta 48 toneladas por día y debe ser ampliada en más de 25 toneladas por día hasta el 2010. La eficiencia de extracción de la planta está en alrededor del 95%.

¹ En Guatemala, la *Jatropha curcas* es conocida como piñón y no como tempate, a diferencia del resto de la región donde se le conoce como tempate.

² En el país existen más de cuatro productores de biodiesel, aunque no todos pudieron reunirse con el consultor.

Figura 11

MAPA DE ÁREAS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DE LA JATROPHA CURCAS



Fuente: MAGA, 2007, Guatemala.

3. Matriz energética y mercado de hidrocarburos

Algunos indicadores energéticos de Guatemala están mostrados en el cuadro 75. El país tuvo un consumo total de energía alrededor de 50,5 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP) en 2004. El consumo total de energía por habitante está alrededor de 4,1 BEP por habitante por año y la intensidad energética es de 2,6 BEP por millón de dólares de PIB.

Para energía eléctrica, el consumo fue de 7009 GWh y para derivados de petróleo de 22,3 millones de barriles. La capacidad eléctrica instalada es de 2.016 MW, de los cuales 1.352 MW son termoeléctricos, 682 MW hidroeléctricos y 29 MW geotérmicos. Existe aún cogeneración con bagazo de caña que vende sus excedentes para la red nacional.

Guatemala es el único país de América Central con producción propia de petróleo con explotación de la cuenca del Petén y con producción anual de 6728 miles barriles en el año de 2005. Existe una pequeña refinería de producción de petróleo en la región pero no produce derivados acabados sino corrientes para mezcla y formulación de productos finales. Los derivados son importados. El cuadro 76 presenta el balance de petróleo para Guatemala. El consumo de fuel oil para generación eléctrica corresponde al 74% y los 26% restantes son empleados en industrias.

Cuadro 75

GUATEMALA: INDICADORES ENERGÉTICOS

Indicador energético	Valor	Unidad
Consumo total de energía	50,53	Millones de BEP
Consumo de electricidad	7 009	GWh
Capacidad eléctrica instalada	2 016	MW
Grado de electrificación	82	%
Consumo de derivados de petróleo	22,30	Millones de barriles
Capacidad de refinación de petróleo	---	Barriles / día
Consumo total de energía per cápita	4,1	BEP / habitante
Intensidad energética promedia	2,6	BEP / millones de US\$ PIB

Fuente: OLADE 2005.

Cuadro 76

GUATEMALA: BALANCE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO, 2005 (Miles de barriles)

	Producción	Importación	Consumo	Exportación
Petróleo	6728	25	1 809	5 976
GLP	0	3 366	2 699	32
Gasolinas	0	7 422	7 024	19
Kero / Jet	0	660	614	0
Diesel	0	8 788	8 550	19
Fuel oil	0	3 295	4 521	2
Otros	0	120	406	194

Fuente: CEPAL, 2006 L738.

El consumo de gasolinas y diesel está detallado para los años 2004-2006 en el cuadro 77 en miles de barriles y en miles de litros. Llama la atención que la gasolina súper posee un volumen de ventas que es casi el doble de la gasolina regular. A su vez, el consumo de diesel es casi el doble del consumo de gasolina súper y mayor que la suma de los volúmenes de gasolina súper con gasolina.

Cuadro 77

GUATEMALA: VENTAS TOTALES DE GASOLINA REGULAR Y DIESEL, 2004-2006

		Gasolina Súper	Gasolina Regular	Diesel
2004	1 000 barriles	4 389,3	2 334,5	7 794,9
	1 000 litros	697 894	371 187	1 239 388
2005	1 000 barriles	4 495,3	2 496,7	8 549,7
	1 000 litros	714 759	396 982	1 359 405
2006	1 000 barriles	4 740,5	2 555,9	8 719,9
	1 000 litros	753 737	406 381	1 386 469

Fuente: MEM/DGH, 2007.

En el cuadro 78 están indicados los precios promedio al consumidor en dólares americanos, para la gasolina super, la regular y el diesel, para las dos modalidades de comercialización que se encuentran en las estaciones de servicio, servicio completo o autoservicio. En Guatemala existe libertad de precios en toda la cadena de distribución y ventas al por menor. Entonces, los precios indicados son promedias mensuales para el mercado. Como en este período hubo considerable incremento en el precio del petróleo (y, por tanto, de sus derivados), esto se reflejó en los precios al consumidor. En el final del período, los precios caen un poco.

Cuadro 78

PRECIOS AL CONSUMIDOR DE GASOLINAS Y DIESEL
(US\$ / galón)

	Servicio Completo			Autoservicio		
	Super	Regular	Diesel	Super	Regular	Diesel
Enero 2004	2,01	1,95	1,44	1,97	1,92	1,41
Abril 2004	2,31	2,26	1,57	2,28	2,23	1,53
Julio 2004	2,41	2,35	1,58	2,38	2,32	1,55
Octubre 2004	2,50	2,44	2,03	2,46	2,40	2,01
Enero 2005	2,46	2,39	2,05	2,42	2,35	2,02
Abril 2005	2,88	2,82	2,37	2,85	2,78	2,35
Julio 2005	2,93	2,86	2,27	2,89	2,83	2,25
Octubre 2005	3,58	3,51	2,69	3,53	3,46	2,66
Enero 2006	2,98	2,91	2,61	2,94	2,87	2,58
Abril 2006	3,23	3,16	2,59	3,18	3,12	2,55
Julio 2006	3,51	3,44	2,74	3,47	3,40	2,71
Octubre 2006	3,26	3,19	2,62	3,22	3,15	2,60
Diciembre 2006	3,05	2,99	2,48	3,02	2,95	2,46

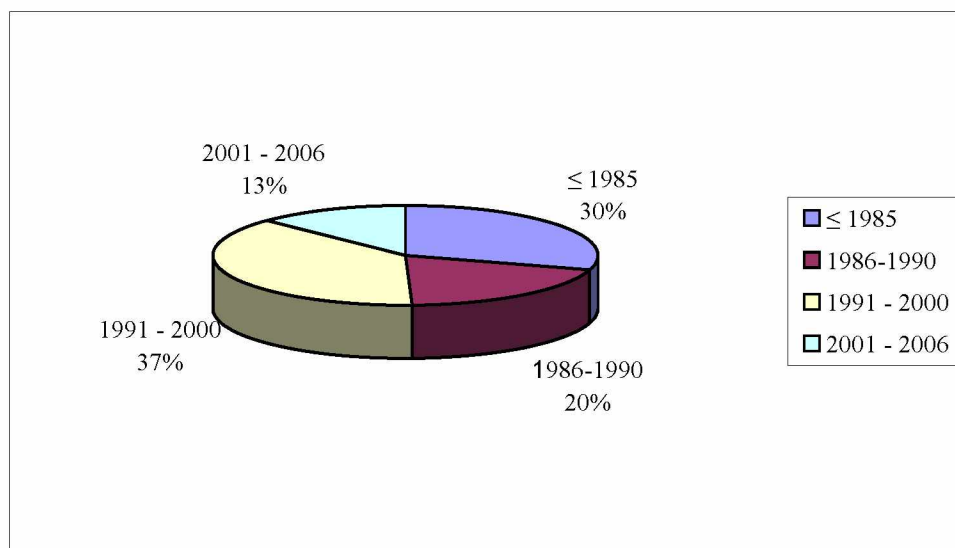
Fuente: MEM/DGH, 2007

Los combustibles derivados del petróleo poseen un impuesto a la distribución (IDP) que afecta la gasolina super en Q.4,70/galón (US\$ 0,6144), la gasolina regular en Q. 4,60/galón (US\$ 0,6013) y el diesel en Q.1,30/galón (US\$ 0,17).

El parque vehicular es de aproximadamente 1,7 millones de vehículos, de los cuales alrededor de 75% usan gasolina y 25% usan diesel. Las importaciones de vehículos usados corresponden a un 75% de las importaciones y la edad promedio del parque vehicular se presenta en el gráfico 18.

Gráfico 18

GUATEMALA: EDAD DEL PARQUE VEHICULAR



Fuente: MEM, 2007.

4. La producción de biodiesel hoy

Existen hoy cuatro empresas que producen biodiesel en Guatemala aunque en pequeña escala, y una empresa que produce aceite de palma tratado para uso en motores. Las empresas son la Guatebiodiesel, ubicada en Ciudad de Guatemala con capacidad para producir de 1.500 a 2.000 galones/día de biodiesel (5.680 a 7.570 litros/día); la Octagon, ubicada en Ciudad de Guatemala con capacidad para 1.000 galones/día (3.780 litros/día) que está ampliando su capacidad para 1.500 galones/día en junio y 3.000 galones/día de biodiesel en diciembre (11.300 litros/día); la Fuerza Verde, también ubicada en Ciudad de Guatemala con capacidad para producir 50 galones/día (190 litros/día) de biodiesel; la Comunidad Nueva Alianza, ubicada en El Palmar, Quetzaltenango con capacidad para 50 galones/día (190 litros/día) de biodiesel y la Helios, ubicada en Zacapa (Oriente) y con capacidad para producir 290 galones/día (1.090 litros/día) de aceite de palma tratado para uso en motores (no hace la transesterificación).

La Guatebiodiesel (Combustibles Ecológicos SA) emplea aceites usados (soya, maíz, girasol) cuando están disponibles y busca obtener semillas de tempate (*Jatropha curcas*) para poder crecer su producción que hoy es de alrededor de 2.000 galones por mes. El biodiesel

producido está siendo usado para pruebas en vehículos propios y eventualmente se hace alguna comercialización en negociación directa con el cliente.

La Empresa Octagon (o Biocombustibles de Guatemala) recibió un financiamiento de EUR 90.000 de la Alianza en Energía y Ambiente (AEA) de Finlandia para desarrollar la producción de biodiesel a partir de tempate (Asturias, 2006). El proyecto empezó en 2002 y fue definido con tres vertientes: agrícola, industrial y de investigación. En 2004-2005 fueron sembradas 10 manzanas en 10 regiones del país para estudio de influencias de clima y suelos para definir el manejo del cultivo. Hoy existen 100 hectáreas de tempate para producción de semillas y uso comercial. Desde el punto de vista de investigación, el proyecto montó un banco de germoplasma y estudia como emplear los subproductos del proceso. El proceso de producción de biodiesel se hace en una etapa de reacción, existe recuperación del metanol en exceso usado en el proceso, la fase de glicerina no recibe ningún tratamiento y se estudian alternativas para usarla en quemadores industriales. El biodiesel ya producido fue empleado en vehículos propios (B100), en una flota de camiones (mezcla B10), y probado en calderas que trabajan en ambientes cerrados, hornos de panaderías y generadores eléctricos estacionarios. La materia prima principal hasta ahora es el aceite usado pues no existe producción suficiente de *Jatropha*. Según el representante de la empresa, alrededor del 80% del biodiesel producido fue originado de aceites usados y alrededor del 20% de piñón. El área de producción de tempate es la región del Petén donde se hace el tratamiento de secado de los frutos y separación de las semillas. La etapa industrial hace la extracción del aceite de las semillas y usa calor de un pozo térmico y energía solar para precalentar el aceite que va al reactor. En el futuro, las cascarillas de las semillas también serán empleadas para producir energía.

Un problema relatado por el representante de la empresa Octagon se relaciona a la propuesta de Reglamento Técnico Centro Americano para el biodiesel (RTCA 75.02.43:06). Según el representante las especificaciones son muy rígidas y no toman en cuenta las condiciones locales, ya que el biodiesel producido de *Jatropha* obtuvo valores de cetanage muy bajos frente a los valores de las normas ASTM y EU usadas como bases para la norma Centroamericana. Según la empresa, el valor mínimo de cetanage propuesto en la norma es 47 y los valores reportados para muestras de biodiesel de *Jatropha* probado en la DGH resultaron entre 42 y 43 unidades. Desde el punto de vista técnico, los resultados obtenidos pueden ser debatidos. Es importante resaltar que la DGH realizó pruebas con equipo infrarrojo (Petrospec) que trabaja con correlaciones probadas y validadas para el diesel de petróleo, pero no probadas aún para el biodiesel. De este modo, sería muy importante realizar medidas de cetanage en ensayo específico en motor de acuerdo a la Norma ASTM D613 para obtener el cetanage real del biodiesel de *Jatropha* y otras materias primas, obteniendo nuevas correlaciones para el análisis de biodiesel con el Petrospec.

La Empresa Fuerza Verde ya produjo biodiesel a partir de grasas animales, de aceites de cocina usados y de palma, siempre de forma experimental. No tiene clientes fijos y emplea el biodiesel producido para pruebas en un vehículo propio, en mezclas B20, B50 y puro (B100).

La Empresa Comunidad Nueva Alianza es una cooperativa de productores de macadamia que produce biodiesel para uso propio en motores estacionarios. Como materias primas emplea las semillas de macadamia rechazadas para comercialización y aceite usado, pero está empezando a desarrollar siembras de higüerillo y tempate.

La Empresa Helios produce alrededor de 2.000 a 3.000 galones por mes (de 7.570 a 11.350 litros por mes) de aceite de palma tratado para uso directo en motores (no es biodiesel) con fines de pruebas. La empresa no ve cómo producir biodiesel pues no existen aún materias primas con precios adecuados. Como estrategia, la empresa está en contacto con los productores de palma, y está desarrollando conversiones de vehículos para el empleo de aceite de palma tratado para eliminar metales y silicio que causan daños al motor. El representante de la empresa informó que ya fueron convertidos algunos motores estacionarios y que una flota de 50 minibuses ya está usando el aceite en motores convertidos desde el mes de septiembre. Él defiende que los pequeños productores deben verticalizarse para poder aumentar sus ingresos a partir de la comercialización del aceite de palma sin transesterificación para motores modificados.

Desde el punto de vista del proceso de producción, las cuatro empresas que producen biodiesel realizan la neutralización de la materia prima (cuando se emplean aceites usados o grasa animal). La reacción de transesterificación la hacen en una sola etapa la Fuerza Verde, la Comunidad Nueva Alianza y Octagon, mientras que la Guatebiodiesel hace la reacción en dos etapas. Para purificación del producto emplean lavado con agua y posteriormente secan el biodiesel. A excepción de la Octagon, las demás empresas aún no hacen la recuperación del metanol por motivos de escala de producción actual. El subproducto de la reacción, la fase de glicerina que contiene aún impurezas, agua y metanol, no es tratada y no tiene mercado en Guatemala. Los productores afirman que están almacenando esta fase pero una solución definitiva para este problema debe aún ser desarrollada.

5. Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación

El principal marco legal para el mercado de combustibles es el Decreto n.109-97, de 26 de noviembre de 1997 (Ley de Comercialización de Hidrocarburos). Esta Ley define los actores de la cadena de comercialización de hidrocarburos, establece las condiciones de otorgamiento de autorizaciones, las obligaciones de los agentes económicos, las infracciones y sanciones. La Ley establece la libertad de precios para todas las actividades, pero cada agente económico involucrado en el mercado debe informar mensualmente sus operaciones (volúmenes, origen, destino, calidad y precios). La Dirección General de Hidrocarburos compara la información del mercado de combustibles en Guatemala y del mercado internacional para verificar si existen distorsiones. Esta Ley fue reglamentada por el Acuerdo Gubernativo n.522-99 del 14 de julio de 1999.

Con respecto a las características y la calidad de los hidrocarburos, el Decreto n.109-97 prevé la publicación de Nóminas anuales. El Acuerdo n.170-2005 de 30 de noviembre de 2005 presenta la Nómina de Productos Petroleros con sus Respectivas Denominaciones, Características y Especificaciones de Calidad. Esta Nómina ya prevé la utilización del gasohol 90/10, es decir, la mezcla de 90% de gasolina con 10% de etanol anhidro.

Los países de América Central están elaborando acuerdos para adoptar especificaciones técnicas homogéneas para hidrocarburos, que ya ha producido resultados para algunos combustibles. El sentido es poder dotar a toda la región con las mismas especificaciones mejorando las condiciones comerciales para el intercambio de productos. Para el biodiesel ya existe un Reglamento Técnico Centro Americano (RTCA 75.02.43:06) aprobado por el Subgrupo de Medidas y Normalización y el Subgrupo de Hidrocarburos de la Región Centroamericana.

Para ser oficializado, debe ser ratificado por una resolución del Consejo de Ministros de Integración Económica.

El uso de combustibles renovables actualmente cuenta con el apoyo de dos leyes de Guatemala: la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente y la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.

El Decreto Ley 68-86 y sus modificaciones (Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente) emanan del artículo 97 de la Constitución de la República y se proponen velar por el mantenimiento y equilibrio ecológico y la calidad del ambiente para los habitantes. Las operaciones de exploración y explotación de petróleo (que existen en Guatemala) requieren Estudios de Impacto Ambiental (EIA). El Decreto menciona el uso de energías renovables como una forma de reducir impactos en el medio ambiente.

El Decreto n.52-2003 (Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable) tiene como objetivo específico aumentar la participación de energías renovables en la matriz energética de Guatemala. Inicialmente propuesto para proyectos de producción de energía eléctrica, fue extendido para otros usos de energías renovables. Los incentivos que la Ley menciona son: a) exención de derechos arancelarios (incluyendo el IVA) para importaciones de máquinas y equipos necesarios para el proyecto; b) exención del pago del Impuesto Sobre la Renta (debido al proyecto) por período de 10 años; c) exención del Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias (IEMA) por período de 10 años. La Ley y su reglamento (Acuerdo Gubernativo n.AG211-2005) determinan las condiciones en que se aplican los incentivos.

6. Escenarios para producción de biodiesel

a) Evaluaciones cualitativas

El Grupo Nacional de Biocombustibles está formado por técnicos del Ministerio de Energía y Minas con la finalidad de acompañar, apoyar e incentivar las iniciativas de uso de combustibles renovables. Para usos en vehículos se incentiva el uso del alcohol de caña en mezcla con la gasolina y el biodiesel.

En Guatemala existe una Asociación de Generadores con Energía Renovable (AGER) que reúne generadores privados de energía con el objetivo de promover el uso de fuentes renovables para generación eléctrica.

La Asociación de Combustibles Renovables (ACR) está formada básicamente por productores de caña de azúcar y está conciente que el biodiesel debe entrar en la matriz energética de Guatemala a mediano o a largo plazo. A corto plazo, la ACR ve problemas con los precios del aceite de palma y dificultad para la obtención de otras materias primas en cantidades necesarias para despegar el uso de biodiesel. La Asociación defiende que se empleen especies de oleaginosas que no sean propias para alimentación y que se empleen tierras menos valorizadas y sin producción. A pesar de que hubo un acercamiento de los productores de biodiesel con la ACR, ningún productor de biodiesel está asociado a la ACR hasta ahora.

La visión de la DGH sobre la introducción del biodiesel en Guatemala es de cautela. Varias cuestiones relevantes fueron presentadas para discusión: i) cómo superar la cuestión económica asociada a los costos del biodiesel, ii) cómo colabora el biodiesel con la cuestión ambiental (impacto de la cantidad), iii) biodiesel como nuevo combustible (B20 o más) o como aditivo al diesel (hasta el 5%), iv) el uso por flotas cautivas o distribución en gasolineras, v) necesidad de reglamentación para distribución en escala comercial, y vi) necesidad de laboratorios para hacer el análisis de calidad del biodiesel.

Los representantes del MAGA son unánimes en afirmar que sería interesante emplear otras materias primas, como el higüerillo (ya usado como sombra para el café), el tempate y otras semillas nativas que hasta ahora no tienen empleo en escala como el “aceituno”, la “piñuela”, el “jaboncillo” y el “paraíso”. El MAGA cree que el biodiesel puede ser importante para fijar poblaciones en el campo y auxiliar en la reducción de la pobreza con el cultivo de especies no tradicionales en tierras subutilizadas u ociosas. En el MAGA se están produciendo estudios de definición de áreas adecuadas al cultivo de la *Jatropha* como se ha visto en la figura 11.

Los productores de biodiesel consultados pusieron en claro que no existe ningún problema de disponibilidad de tierras para producir materias primas para biodiesel cuando se puede emplear tierras marginales para el cultivo de especies alternativas. Ningún productor actual ve posibilidad de emplear palma africana en este momento frente al precio de la materia prima. Todos son unánimes en decir que el problema fundamental no es industrial (tecnología de producción de biodiesel ya es conocida) sino agrícola, obtener materias primas con precios y calidad adecuadas. Con respecto a la calidad del producto, todos concuerdan que aún no existen laboratorios en Guatemala capaces de certificar la calidad del biodiesel. Hubo críticas al Reglamento Técnico propuesto que no ha sido “tropicalizado”.

b) Evaluaciones y recomendaciones de este informe

Según el MAGA, en Guatemala existen áreas disponibles para el incremento de siembra de palma africana. El cuadro 79 hace estimaciones del área necesaria para obtener un 5% de sustitución de diesel (B5) para la palma y para el tempate (piñón). Se emplearon las siguientes hipótesis para la palma: i) el crecimiento del consumo de diesel es de un 4% al año, y ii) el rendimiento agrícola de la palma es el valor histórico (alrededor de 10 toneladas de frutos por hectárea). A pesar de que es posible obtener rendimientos de más de 20 toneladas de frutos por hectárea, el crecimiento de productividad no ocurre con rapidez y las nuevas siembras hacen caer el valor promedio. En el cuadro se puede observar que el área de palma necesaria es de alrededor de 25.000 hectáreas que constituye un poco más del 80% de toda el área de palma que existe actualmente. Esto no es obtenible a corto plazo porque no se puede olvidar que la palma sólo empieza a producir cuando tiene alrededor de cinco años. Las inversiones necesarias son también elevadas.

A corto plazo, el aceite de palma disponible para hacer biodiesel será el que hoy se comercializa para fines alimenticios, ya sea de consumo interno del país o para exportación. Se crea entonces una competencia negativa entre el sector energético y el sector alimenticio: los precios del aceite suben, los consumidores tradicionales son perjudicados y los productores de biodiesel pierden competitividad o la viabilidad misma del emprendimiento.

En el caso del tempate, para obtener el volumen de biodiesel necesario para sustituir 5% de diesel se requieren áreas muy grandes. Otra vez, no será posible obtener valores tan elevados de producción en plazos cortos a pesar de que el tempate empieza a producir con dos años de edad.

Cuadro 79

GUATEMALA: ESTIMACIONES DE ÁREA DE SIEMBRA PARA BIODIESEL

		2007	2008	2009	2010	2011
Diesel	millones litros	1 442	1 499,6	1 559,6	1 622,6	1 686,9
B5	millones litros	72,1	75,0	78,0	81,1	84,3
Área B5 Palma	1 000 ha	25,5	26,6	27,6	28,7	29,9
Área B5 Tempate	1 000 ha	68,9	71,7	74,5	77,5	80,6

Fuente: Elaboración propia, con hipótesis presentadas en los tres párrafos que preceden al cuadro.

Desde el punto de vista industrial, la tecnología de producción de aceite de palma ya es conocida en el país y la tecnología de producción de biodiesel no es muy sofisticada. El país tiene condiciones de absorber sin problemas el *know-how* de este nuevo producto.

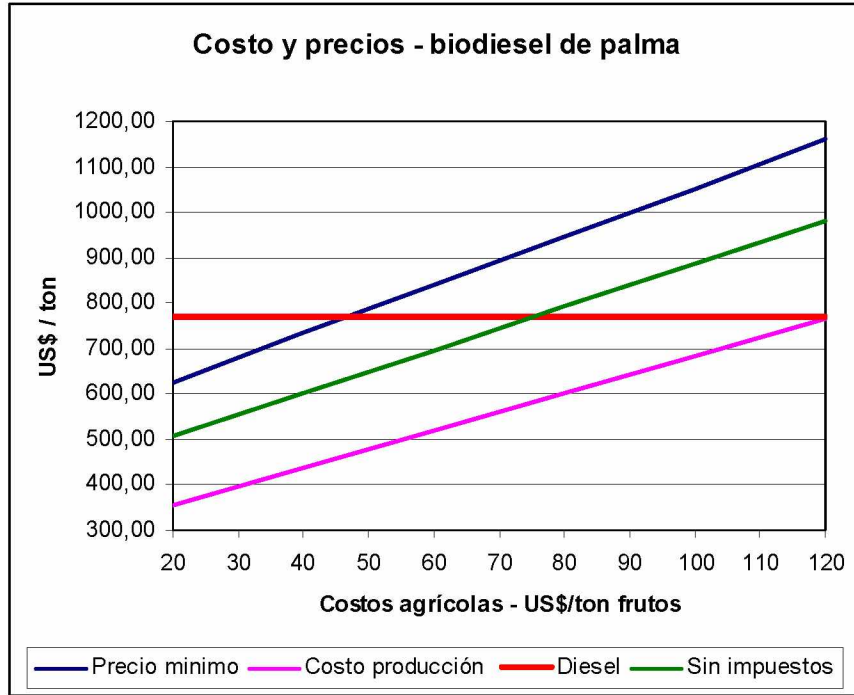
A pesar de que existen problemas agrícolas para introducir el biodiesel con rapidez, la principal barrera es económica. A partir de las hipótesis y metodología presentadas en el capítulo III, se estimó el costo del biodiesel producido de palma africana y de tempate. Para la palma lo importante es el costo de los frutos de la palma por tonelada, pues no existe mercado libre para el fruto. La producción de los frutos, aunque realizada por productores independientes, siempre es contratada por una empresa de extracción de aceite. Se presentan también los costos del biodiesel de un productor independiente que hace adquisiciones de aceite a precios de mercado. Las comparaciones entre costo de producción de biodiesel y precios mínimos con y sin impuestos se hace con el precio de mercado del diesel evaluado con base en los datos promedios de precios de diciembre de 2006.

El gráfico 19 presenta el costo de producción de biodiesel en función del costo agrícola de la tonelada de frutos y el gráfico 20 en función del precio de mercado del aceite crudo de palma.

En el caso de producción integrada, la viabilidad del biodiesel con impuestos ocurre hasta un costo agrícola de alrededor de US\$ 45/ton de frutos. Si el precio se considera sin impuestos, el costo agrícola puede llegar hasta los US\$ 75/ton de frutos. Los costos de producción del biodiesel se igualan al precio del diesel para costos agrícolas alrededor de US\$ 120/ton de frutos.

Gráfico 19

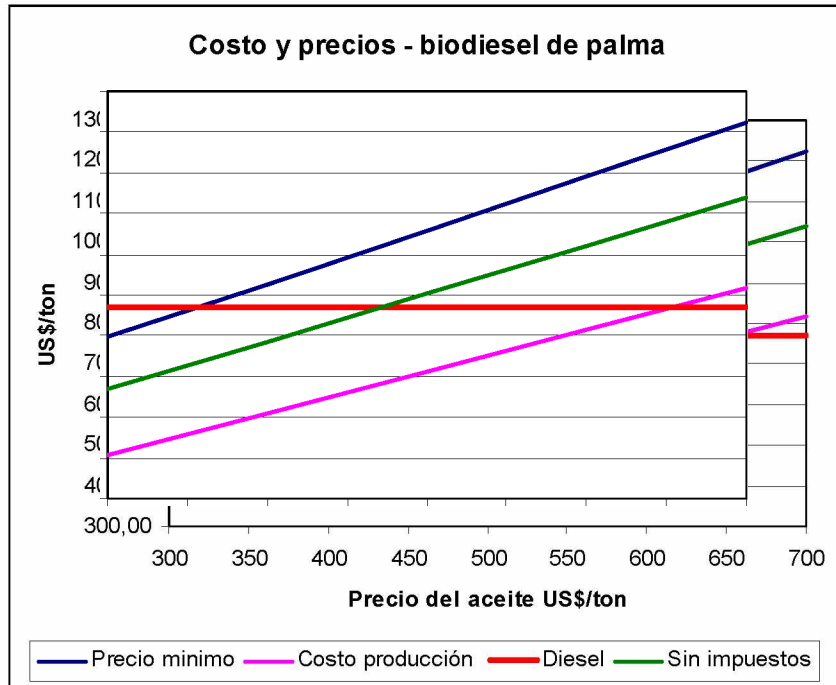
ESTIMACIONES DE COSTOS PARA BODIESEL DE PALMA – COSTOS AGRÍCOLAS



Fuente: Elaboración propia. Datos de Guatemala

Gráfico 20

ESTIMACIONES DE COSTOS PARA BODIESEL DE PALMA – PRECIO DE ACEITE



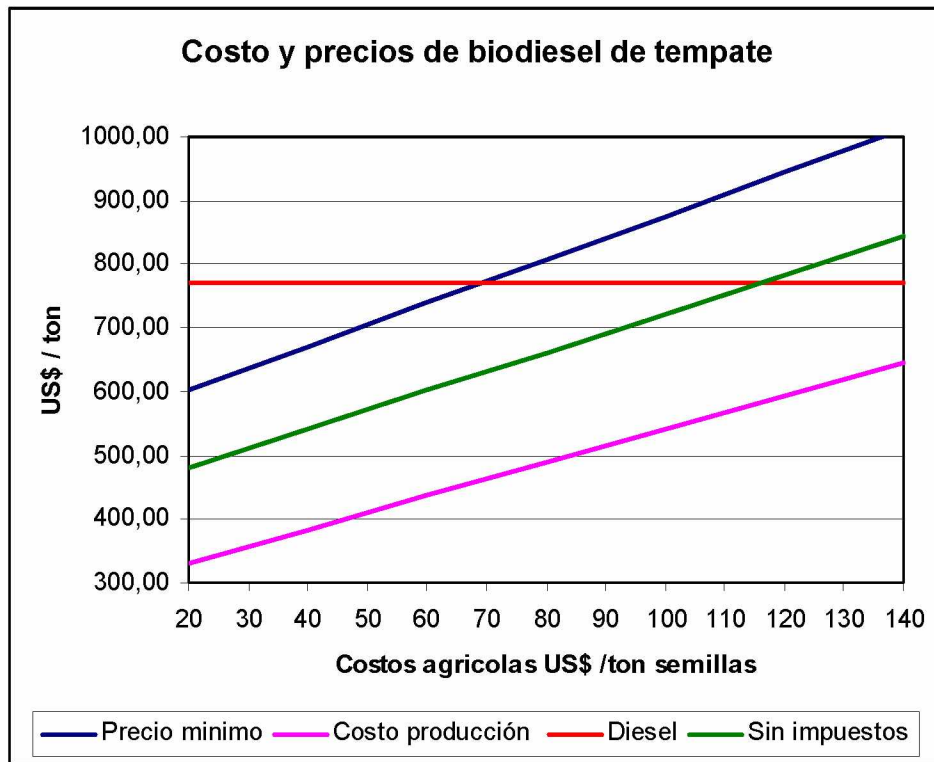
Fuente: Elaboración propia. Datos de Guatemala.

Para el caso de un productor independiente que depende del aceite disponible en el mercado, la viabilidad completa de precio mínimo (con impuestos) ocurre hasta un precio de aceite de alrededor de US\$ 350 por tonelada. Si existe exención total de impuestos, el precio del aceite puede llegar hasta los US\$ 475/ton. Precios de aceite alrededor de US\$ 650 hacen que el costo de producción sea casi igual al precio del diesel y no existen más márgenes para el productor ni para la distribución y comercialización.

Para el tempate, los resultados son mostrados en el gráfico 21. Existe viabilidad para el biodiesel de tempate incluyendo los impuestos hasta que los costos agrícolas sean menores que US 70/ton de semillas. En el caso de exención total de impuestos, el costo agrícola puede ser de hasta US\$ 115/ton de semillas.

Gráfico 21

**GUATEMALA: ESTIMACIONES DE COSTOS PARA BIODIESEL DE TEMPATE –
PRECIO DE ACEITE**



Es importante mencionar que los gráficos de arriba deben ser tomados con cautela, pues traen consigo una serie de hipótesis que, de no cumplirse, pueden cambiar valores de precio y costos y afectar de modo importante las conclusiones del análisis.

Finalmente, como la competencia económica del biodiesel se hace con el diesel de petróleo, es importante tomar en cuenta los precios del petróleo y de los hidrocarburos en el mercado internacional. Si los precios del barril de petróleo disminuyen, la viabilidad del biodiesel es afectada negativamente y viceversa si los precios del barril suben. De cualquier forma, independientemente de la tendencia a corto plazo de los precios de petróleo, es fundamental que se defina si el biodiesel es importante o no para la matriz energética y para el desarrollo agrícola y entonces apostar en el largo plazo.

Si el país desea introducir el biodiesel en su matriz, es necesario que se establezca un sistema de control de calidad y certificación del producto, para que no ocurran problemas en los motores, con impactos sobre consumidores u operadores de flotas. Por seguridad, se aconseja que las mezclas sean de bajos porcentajes de biodiesel en el inicio y posteriormente, con el aumento de la experiencia con este nuevo producto, se puede aumentar la proporción de biodiesel en la mezcla.

VII. PERSPECTIVAS PARA EL BIODIESEL EN HONDURAS

Este capítulo presenta las condiciones socioeconómicas de Honduras, la situación de la producción agrícola, las necesidades de importaciones para el mercado interno y los principales rubros de exportación. Se muestran las posibilidades de producción de oleaginosas, aceites vegetales y las instalaciones de producción de biodiesel, se analizan estas condiciones y se evalúa la perspectiva de introducción del biodiesel en el mercado de hidrocarburos en sustitución del diesel de petróleo.

1. Características socioeconómicas del país

El cuadro 80 muestra los indicadores socioeconómicos de Honduras hasta el 2005. El país tiene una población de alrededor de 7,3 millones de personas, con un PIB per cápita aún bajo el menor de los países visitados. La población urbana es menor que la rural, pero la diferencia viene disminuyendo y en unos pocos años deben ser iguales. Los índices de pobreza son elevados y más aun para las poblaciones rurales cuando se les compara con la población urbana. El número de personas que vive con menos de dos dólares de ingreso promedio al día es alto, pero los gastos públicos sociales como porcentual del PIB están aumentando, lo que puede contribuir para reducir la pobreza.

La superficie del país es relativamente grande para la población y la densidad de habitantes por hectárea no es elevada. La proporción de bosques y forestas es elevado (alrededor del 42% en 2005) y la superficie ocupada con cosechas permanentes es baja. Gran parte de sus tierras son ocupadas con ganado bovino con densidad de pocas cabezas por hectárea, por lo tanto, existen márgenes para el incremento de la superficie agrícola.

El cuadro 81 presenta las cifras del balance comercial y del saldo de la deuda externa. Para los años de la serie, el balance comercial es siempre negativo y creciente. El saldo de la deuda externa también es creciente excepto para 2005 y la deuda externa representa un porcentual muy grande del PIB. Estas condiciones ponen al país en un alto grado de vulnerabilidad económica que necesita ser superado.

Cuadro 80

HONDURAS: INDICADORES SOCIOECONOMICOS Y DE USO DE TIERRAS

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Población 1000 personas	6 485	6 656	6 828	7 001	7 174	7 347
PIB per cápita	929	928	930	938	962	977
Población urbana %	45,3	ND	ND	ND	ND	47,9
Población rural %	54,7	ND	ND	ND	ND	52,1
%pobreza - nacional	ND	ND	77,3	74,8	ND	ND
% pobreza - rural	ND	ND	86,1	84,8	ND	ND
% población <2 US\$/día	ND	ND	ND	36	ND	ND
Gasto público % PIB	9,2	10,5	ND	ND	13,1	ND
Superficie terrestre - 1000 ha	11 189	11 189	11 189	11 189	11 189	11 189
personas / ha	0,58	0,59	0,61	0,63	0,64	0,66
Superficie agrícola - 1000 ha	2 936	2 936	2 936	2 936	2 936	2 936
Superficie arable - 1000 ha	1 068	1 068	1 068	1 068	1 068	1 068
Área cosecha permanente - 1000 ha	359	360	360	ND	ND	ND
Área ganadera - 1000 ha	1 508	1 508	1 508	1 508	1 508	1 508
Bovinos 1000 cabezas	1780	1 875	2 050	2 403	2 451	2 500
Cabezas / ha	1,18	1,24	1,36	1,59	1,63	1,66
Área de bosques - 1000 ha	5 430	ND	ND	ND	ND	4648
Proporción de bosques	48,5	ND	ND	ND	ND	41,5

Fuente: CEPALSTAT: Siagro y Badeinso.

Cuadro 81

HONDURAS: BALANCE COMERCIAL TOTAL Y DEUDA EXTERNA

Deuda externa	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	3 663	3 727	3 938	4 377	4 766	4 061
(% PIB)	62,0	59,9	61,6	64,5	64,7	48,7
Balance Comercial total	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(Millones de US\$)	-845,8	-1 061,8	-1 012,5	-1 107,8	-1 428,7	-1 712,2

Fuente: CEPALSTAT.

2. Características agrícolas del país

a) El uso agrícola de las tierras

Las extensiones de tierras para cosechas están en el cuadro 82 en orden decreciente. El maíz, el café y los frijoles ocupan las mayores áreas de producción. El café es un cultivo de exportación, pero el maíz y el frijol son los principales granos para consumo interno del país. La palma africana y la caña de azúcar ocupan también un lugar destacado. Muchas áreas son empleadas para el cultivo de frutales, que también poseen importante participación en las

exportaciones agrícolas. El tabaco, importante rubro de exportación, tiene una fuerte tendencia de reducción de área en el periodo.

Cuadro 82

HONDURAS: MAYORES EXTENSIONES DE TIERRAS PARA COSECHAS

(Miles de hectáreas)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Maíz	344,57	284,57	369,14	333,67	321,49	371,25
Café	210,77	216,56	204,49	228,44	236,38	238,46
Frijol	76,31	92,84	139,78	90,45	103,63	117,81
Palma	33	34	44	45	45	82,25
Caña de azúcar	40,69	42,83	43,81	42,59	42,32	42,54
Sorgo	67,36	48,48	57,2	50,69	37,56	37,55
Plátano	15	15,5	17,4	18,7	19,9	21,2
Banano	22,45	22,46	16,55	17,47	19,21	20,53
Naranja	13	14	17,4	18,6	19,9	21,2
Melón	5,7	5,5	8,9	9,6	10,3	10,5
Arroz	3,2	2,64	3,73	4,29	5,46	5,63
Yuca/mandioca	2,5	2,5	2,9	3,1	4,5	5,1
Tabaco	11,2	11,6	4,1	4,1	4,2	4,2
Mango	0,9	0,9	2,8	3,2	3,6	4,1
Piña	3,9	3,6	2,6	2,8	2,9	2,7
Tomate	4,3	4,5	2	4	3,8	3,7
Sandía	0,5	0,6	3,1	3,1	3,3	3,6
Copra	2,4	2,4	2	1,9	1,8	1,8

Fuente: CEPALSTAT/SIAGRO.

b) Producción, importación y consumo aparente de alimentos básicos

El cuadro 83 muestra la producción agrícola de granos y productos de exportación. La producción de arroz aún es pequeña pero su productividad es buena. La producción de frijoles varía año con año y su productividad varía en un rango muy grande. La producción de maíz tiene una productividad relativamente baja a pesar de que el volumen de producción es alto. Los bananos, el café y la caña de azúcar son productos tradicionales de exportación. La palma africana que viene creciendo de producción año con año, es un producto de exportación relativamente nuevo.

Las importaciones de granos y carne están presentadas en el cuadro 84. Las importaciones de arroz son en volúmenes importantes así como las de maíz. Para estos dos granos la demanda por importaciones es creciente. Las importaciones de frijol no son tan elevadas, proporcionalmente. El trigo no es un cultivo tradicional en los países de Centroamérica y su importación crece en el período. La importaciones de carne son en volumen bajo. Con relación a precios promedios de importación, el país obtuvo mejores condiciones que los precios internacionales para el trigo y para el maíz. Para el arroz los precios de importación son siempre mayores que los internacionales.

Cuadro 83

HONDURAS: PRODUCCION AGRICOLA DE GRANOS Y PRODUCTOS DE EXPORTACION
(Miles de toneladas)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz	10,4	9,8	11,9	15,9	30,3	26,5
ton / ha	3,25	3,72	3,2	3,7	5,54	4,7
Frijol	69,6	42,3	60,8	86	68,3	74,9
ton / ha	0,91	0,46	0,43	0,95	0,66	0,64
Maíz	511,9	416,8	508,6	518	440,7	520,8
ton / ha	1,49	1,46	1,38	1,55	1,37	1,4
Sorgo	60,5	54,8	51,6	57,6	46,2	50,9
ton / ha	0,9	1,13	0,9	1,14	1,23	1,35
Banano	417,31	508,67	468,02	486,76	579,34	550,08
ton / ha	18,59	22,65	28,28	27,86	30,16	26,79
Café	189,51	176,72	180,17	166,43	184,71	155,27
ton / ha	0,9	0,82	0,88	0,73	0,78	0,65
Caña de Azúcar	3 444,3	3 502,05	3 530,19	3 417,67	3 684,71	3 633,77
ton / ha	84,65	81,76	80,59	80,24	87,07	85,43
Palma Africana	610,00	659,49	699,86	794,34	915,5	1 077,07
ton / ha	0,77	1,18	2,07	1,73	ND	ND

Fuente: CEPALSTAT – Siagro.

Cuadro 84

HONDURAS: IMPORTACIONES AGRICOLAS
(Miles de toneladas)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz	117,29	145,29	100,06	130,95	146,24	169,53
efectivo US\$ / ton	243,82	191,87	141,37	176,77	249,10	218,83
Internac. ^a US\$ / ton	265,80	205,80	222,40	248,80	270,00	308,60
Frijol	1774	6478	6276	2892	3529	3240
efectivo US\$ / ton	642,18	451,40	500,14	535,94	488,24	733,04
Internac. ^a US\$ / ton	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Maíz	176,00	233,34	226,90	224,99	251,04	373,93
efectivo US\$ / ton	171,59	128,37	144,86	144,71	154,94	133,86
Internac. ^a US\$ / ton	72,00	74,25	82,43	ND	ND	ND
Trigo	159,97	170,00	146,07	147,64	172,41	185,08
efectivo US\$ / ton	214,69	204,20	184,26	184,14	211,56	204,59
Internac. ^a US\$ / ton	114,00	126,80	148,50	146,10	156,90	152,40
Carne	ND	0,58	2,55	0,61	13,16	19,17
Internac. ^a US\$ / ton	1 932	2 124	2 119	2 129	2 508	2 611

Fuente: CEPALSTAT – Siagro

a/ FOB Golfo.

El consumo aparente, el grado de dependencia de importaciones y la producción neta y el consumo anual per cápita son presentados en el cuadro 85. El consumo aparente de arroz y trigo son claramente crecientes en el período y la dependencia de importaciones para estos dos granos es muy alta. Para el trigo, no hay mucho que hacer, pero para el arroz el país tiene condiciones de

incrementar la producción. El grado de dependencia para el maíz ha aumentado en el período y para el año 2005 alcanzó el 47% del consumo. Según información de la Infoagro/SAG, la importación de maíz ocurre principalmente para el maíz amarillo; para maíz blanco el país es casi autosuficiente. El consumo de maíz para alimentación animal es de alrededor del 50% del total y la producción local es de alrededor del 60% del total (Instituto Nacional de Estadísticas, 2006). Para el frijol, la situación es mucho más confortable pues el país produce gran parte de su propio consumo (dependencia alrededor del 5%). Para el sorgo, el país es prácticamente autosuficiente a excepción del 2005 cuando el grado de dependencia llegó al 5%.

Para la carne, la producción neta y el consumo por habitante son siempre muy próximos, es decir, no existen excedentes de grandes volúmenes para exportación ni dependencia de importaciones.

Cuadro 85

HONDURAS: CONSUMO APARENTE Y GRADO DE DEPENDENCIA DE IMPORTACIONES

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arroz limpio						
Consumo aparente - 1000 ton	123,52	148,19	105,36	139,43	164,08	185,64
Grado de dependencia - %	94,96	98,04	94,97	93,92	89,13	91,32
Producción neta per cápita - kg/año	1,02	0,94	1,11	1,45	2,69	2,3
Consumo por habitante - kg/año	19,05	22,29	15,45	19,95	22,9	25,27
Frijol						
Consumo aparente - 1000 ton	64,35	44,43	52,86	76,81	63,02	68,52
Grado de dependencia - %	2,76	14,58	11,87	3,77	5,6	4,73
Producción neta per cápita - kg/año	9,66	5,73	8,02	11,07	8,57	9,17
Consumo por habitante - kg/año	9,92	6,68	7,75	10,99	8,8	9,33
Maíz						
Consumo aparente - 1000 ton	584,38	566,34	633,75	633,28	591,96	783,1
Grado de dependencia - %	30,12	41,2	35,8	35,53	42,41	47,75
Producción neta per cápita - kg/año	63,14	50,15	59,69	59,29	49,2	56,71
Consumo por habitante - kg/año	90,11	85,17	92,96	90,61	82,61	106,59
Sorgo						
Consumo aparente - 1000 ton	57,61	52,31	49,25	54,75	43,94	51,19
Grado de dependencia - %	0,289	0,474	0,644	0,259	0,117	5,99
Producción neta per cápita - kg/año	88,64	78,35	71,94	78,24	61,28	65,75
Consumo por habitante - kg/año	88,82	78,68	72,24	78,34	61,31	69,68
Trigo						
Consumo aparente - 1000 ton	160,59	170,80	146,86	148,44	173,17	185,87
Grado de dependencia - %	99,60	99,50	99,50	99,50	99,60	99,60
Producción neta per cápita - kg/año	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
Consumo por habitante - kg/año	24,76	25,69	21,54	21,24	24,17	25,30
Carne bovina						
Consumo aparente - 1000 ton	54,22	55,17	62,79	57,32	53,57	53,62
Producción neta per cápita - kg/año	8,48	8,32	9,09	8,16	7,54	7,20
Consumo por habitante - kg/año	8,36	8,30	9,21	8,20	7,48	7,30

Fuente: CEPALSTAT – Siagro

c) Productos exportados de cobertura agropecuaria

Los principales productos de exportación, en orden decreciente de ingresos de divisas (millones de dólares), están reproducidos en el cuadro 86. El café y el banano son productos tradicionales de exportación y traen los mayores ingresos. Es muy interesante el caso de los camarones y langostas que, a pesar de un pequeño volumen, constituyen el tercer rubro de exportaciones debido a su gran valor de mercado. El aceite de palma ya es el cuarto rubro de exportación con importancia mayor que el tradicional azúcar. Los frutales (melones, sandías y piñas) también son importantes fuentes de ingresos y ya sobrepasaron en importancia al tabaco.

Cuadro 86

HONDURAS: PRINCIPALES EXPORTACIONES AGROPECUARIAS (En miles de toneladas y millones de dólares)

	2003		2004		2005	
	Millones US\$	1 000 Ton.	Millones US\$	1 000 Ton.	Millones US\$	1 000 Ton.
Café	183,3	145,5	251,8	167,5	334,9	145,6
Banano	132,7	441,0	208,3	524,8	252,7	498,3
Camarón y langosta	191,8	18,4	194,3	20,3	184,2	20,6
Aceite de palma	53,0	94,0	53,1	108,5	56,3	120,0
Melones y sandías	33,7	180,5	34,0	190,9	32,5	191,1
Azúcar	11,2	48,2	13,8	82,7	24,8	114,2
Piñas	16,6	35,1	22,8	49,9	19,6	55,7
Tabaco	6,8	2,3	6,9	1,3	7,0	1,3

Fuente: Banco Central de Honduras, Subgerencia de Estudios Económicos, 2007.

d) La producción de oleaginosas y aceites vegetales: palma africana

Hoy, Honduras produce en gran escala apenas una oleaginosa, la palma africana. Existe producción de ajonjolí que posee precios para la semilla que no son competitivos para la producción de aceite y en cantidades muy pequeñas para un programa de biodiesel de gran porte.

El país ya produjo algodón en los años ochenta con hasta 8,5 mil hectáreas de siembra, pero el área destinada a este cultivo decreció hasta desaparecer en 1992. Desde 1996 hasta el 2000 hubo un intento de retomar el cultivo de algodón, con pico de área en 1997 de 4.000 hectáreas. Los bajos precios del algodón, plagas y problemas ambientales asociados al uso de insecticidas y pesticidas prácticamente hicieron desaparecer este cultivo.

La producción de soya creció en el país hasta 1994 cuando se logró la mayor área (alrededor de 6.000 hectáreas), pero la producción de esta oleaginosa decreció y hoy ocupa no más de 700 hectáreas. La cantidad producida es muy pequeña.

En Choluteca, provincia ubicada en el sur, están en avance dos proyectos experimentales de cultivo de *Jatropha* (tempate) con alrededor de 100 manzanas (~70 ha) de cultivo para semillas. En caso de éxito del proyecto, el país podrá desarrollar el cultivo de tempate como materia prima para el biodiesel. Según técnicos del Infoagro/SAG, la introducción de nuevas

variedades de oleaginosas sería muy interesante para la penetración del biodiesel al desacoplar los costos de las materias primas de los precios del mercado de aceites vegetales comestibles.

Las primeras siembras comerciales de palma se realizaron en 1936. A partir de 1971, el cultivo se extendió al Valle del Aguán y a partir de 1976 en los sectores de Guaymas y Negrito. El número de productores es mayor que 7.000, con un promedio de 10 hectáreas por explotación. Los pequeños productores se organizan en Cooperativas y Asociaciones. La entidad de carácter nacional es la Federación Nacional de Productores de Palma de Honduras (FENAPALMA).

La producción de palma africana ya es una de las más importantes actividades agrícolas y el aceite de palma es uno de los mayores rubros de exportación y también abastece el mercado interno de aceites comestibles. La producción de palma está centrada en la región Norte y en el litoral del Atlántico en valles de baja altitud en relación al nivel del mar en los departamentos de Atlántida, Yoro, Colón y Cortés. Las grandes fincas son la propiedad de siete grandes grupos económicos y los productores independientes son contratados para producir palma para las plantas extractoras. La información recabada en Honduras indica que los principales productores de palma están aumentando el área de siembra y para los próximos años la producción debe crecer de forma continua.

El cuadro 87 indica la producción de frutos y aceite de palma así como el área de siembra y los rendimientos en frutos y en aceite por hectárea. Tanto el área como la producción están en constante aumento. La productividad relativamente baja de frutos y de aceite puede estar asociada a fincas donde la palma aún no está madura para producción (alrededor de cinco años para producción significativa).

Cuadro 87

HONDURAS: PRODUCCION DE PALMA AFRICANA (FRUTOS) Y ACEITE DE PALMA

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1000 toneladas frutos	610,0	659,5	699,9	794,3	915,5	1 077,1
1000 ha	33,0	34,0	44,2	45,0	65,0	82,3
Rendimiento ton / ha	18,48	19,4	15,83	17,65	14,08	13,09
1000 toneladas aceite*	ND	ND	141,5	175,4	182,4	203,3
1000 ton aceite – expo.	ND	ND	ND	53,0	108,5	120,0
Rendimiento aceite ton/ha			3,2	3,8	2,8	2,5

Fuente: CEPALSTAT – Siagro & *FAOSTAT.

e) La extracción del aceite de palma

La cadena agroalimentaria de la palma se compone de productores, intermediarios, extractores de aceite crudo, refinadoras, exportadores, distribuidores y mayoristas. La extracción del aceite de palma se hace en once empresas productoras ubicadas en los departamentos de Atlántida, Yoro y Colón como se indica en el cuadro 88. Las plantas de producción de aceite de palma son de gran capacidad (excepto la de Imdisa) y en cuatro casos también poseen capacidad de hacer la refinación. Las siete otras plantas producen aceite crudo de palma (CPO) y aceite de

almendra (PKO) sin refinación. Números preliminares para el año 2006 indican una producción de 238.000 toneladas de aceite.

Cuadro 88

HONDURAS: NOMBRE Y CAPACIDAD DE LAS PLANTAS DE ACEITE DE PALMA

Planta aceitera	Ubicación	Capacidad Ton/h	Refinación
Agripalma	Trujillo – Colón	36	No
Aceydesa	Trujillo – Colón	45	No
Cressida Lean	Arizona – Atlántida	45	No
Crecida Aguan	Tocoa – Colón	90	Si
Salamá	Trujillo – Colón	12	No
Coapalma	Trujillo – Colón	45	Si
Imdisa	Jutiapa – Atlántida	8	No
Caicesa	San Francisco – Atlántida	40	No
Agrotor	Tela – Atlántida	60	Si
Hondupalma	Guayabas – Yoro	45	Si
Palcasa	El Progreso – Yoro	30	No

Fuente: Centeno, 2007 – información personal.

El aceite producido es comercializado en el país (41% en 2005) y otra parte se exporta (59% en 2005). Los principales compradores de aceite de palma de Honduras son El Salvador, México y Nicaragua. El producto comercializado en el país es el aceite de palma refinado. Los precios de aceites vegetales comestibles llegaron a un valor promedio de 154,38 Lempiras por galón (US\$ 2,14 por litro o US\$ 2.380 por tonelada) en el mercado minorista en diciembre de 2005. Este valor es mucho mayor que los precios del CPO para exportación (US\$ 469 por tonelada promedio en 2005) y existe la tendencia natural de abastecer primero el mercado del país y después exportar los excedentes.

La SERNA está conduciendo una auditoría ambiental en las empresas productoras de palma y de aceite de palma. En la etapa agrícola no se identificaron problemas mayores; en la etapa de extracción, un problema son las lagunas de oxidación que son usadas para depositar las aguas provenientes del proceso conteniendo la carga biológica que no es aceite vegetal. Como existe producción de metano (biogas) por digestión, algunas empresas tienen proyectos de producir biogás para generar electricidad. En particular, la empresa Palcasa ya está produciendo metano de las aguas usadas e incluso recibe créditos de carbón.

3. Matriz energética y mercado de hidrocarburos

Los indicadores energéticos de Honduras para el 2004 están presentados en el cuadro 89. El consumo total de energía del país es de alrededor de 23,6 miles de millones de barriles equivalentes de petróleo que representa alrededor de 3,4 barriles equivalentes de petróleo por habitante. La intensidad energética es de 4,7 barriles equivalentes de petróleo por millones de dólares del PIB.

La información preliminar referente al Balance Energético Nacional para el año 2005 (DGE/SERNA, 2007 – información personal) indica un consumo total de 23.322 millones de

barriles equivalentes de petróleo. Este consumo total de energía se distribuye entre leña (43,2%), electricidad (11,2%), diesel (22,1%), gasolinas (10,4%), fuel oil industrial (6,0%), coque (1,9%), kerosene (1,9%), GLP (1,4%), combustibles vegetales (1,0%), carbón (0,7%) y bagazo de caña (0,2%).

La capacidad instalada de producción de energía eléctrica es de 1.044 MW, de los cuales 465,7 MW son hidroeléctricos y 578,3 MW son termoeléctricos. El consumo de energía anual promedio es alrededor de 780 kWh por habitante que aún es bajo, así como el grado de electrificación del país que se encuentra alrededor del 60%.

Cuadro 89

HONDURAS: INDICADORES ENERGETICOS

Indicador energético	Valor	Unidad
Consumo total de energía	23 637	Millones de BEP
Consumo de electricidad	3 817	GWh
Capacidad eléctrica instalada	1 044	MW
Grado de electrificación	60	%
Consumo de derivados de petróleo	13 725	Millones de barriles
Capacidad de refinación de petróleo	---	Barriles / día
Consumo total de energía per cápita	3,4	BEP / habitante
Intensidad energética promedio	4,7	BEP / millones de US\$

Fuente: OLADE

La DGE/SERNA manifestó preocupación con relación a la competencia entre la producción agrícola para fines alimenticios o para fines energéticos y presentó estudios sobre otras perspectivas de uso de fuentes de energía renovables, como el empleo de la energía eólica (60 MW en estudios), exploración hidroeléctrica (varios proyectos) y geotérmica (seis sitios en fase de estudios de factibilidad).

El consumo de hidrocarburos es de alrededor de 13,7 miles de millones de BEP distribuidos entre los sectores de transportes (37%), generación eléctrica (31%), industrial (11%), comercial (2%), residencial (2%) y otros (17% especialmente uso agrícola, construcción y minería). Todos los hidrocarburos son importados.

La evolución del consumo de los hidrocarburos en los cuatro últimos años se muestra en el cuadro 90. Desde el 2003 hasta el 2006, aumentó el consumo de la gasolina superior y decreció el consumo de la regular, probablemente causado por los altos precios ocasionados por los precios del petróleo y sus derivados en el mercado internacional. El consumo total de gasolina creció año tras año excepto para el 2005.

Cuadro 90

HONDURAS: CONSUMO DE COMBUSTIBLES
(Miles de barriles)

	2003	2004	2005	2006
Gasolina Superior	2551,8	2691,7	2567,0	2312,0
Gasolina Regular	195,2	184,0	192,6	604,2
Diesel	6568,0	6441,3	5258,0	4927,4
Kerosene	269,1	265,8	249,1	253,7
AV Jet	201,3	200,8	209,5	265,1
Fuel Oil	3619,8	5085,8	5322,7	4885,3
AV Gas	3,4	2,9	1,3	11,5
GLP	646,3	686,9	784,7	770,9
Asfalto	43,8	51,0	52,8	106,2
TOTAL	14098,8	15610,0	14637,7	14136,4

Fuente: CAP/SIC, 2007.

De forma contraria, el consumo de diesel decreció en el período considerado debido probablemente a la reducción de actividades económicas (el diesel es sensible al ritmo de la economía) o a la reducción de algunos usos del producto que pudieran haber cambiado (por ejemplo, generación de electricidad con diesel). La reducción en el consumo de kerosene puede estar asociada al crecimiento del consumo de GLP pues son combustibles que hacen competencia entre sí (iluminación y cocina). El fuel oil llegó a su mayor consumo en el 2005 y cayó un poco para el 2006.

Como Honduras no posee producción de petróleo, ni refinería, todos los hidrocarburos que se consumen son importados. El cuadro 91 presenta para los tres últimos años la factura petrolera de importaciones con valores en miles de dólares, cantidades en 1.000 barriles y precios promedios anuales en dólares por barril. Para las gasolinas, los precios promedios anuales de importación subieron un 58,4% de 2004 hasta 2006. De la misma forma, para el kerosene subieron 68,4%, para el diesel 69,1%, para el fuel oil 66,9% y para el GLP 33,1%. Como reflejo de mayores precios por barril y del incremento en los volúmenes consumidos, para este mismo período la factura petrolera creció alrededor de 72,4%. La factura petrolera equivale a 10,5% del PIB y a 17% de las importaciones de bienes y servicios.

Las ventas totales de gasolinas y diesel en el 2006 están reproducidas en el cuadro 92, en miles barriles, millones de galones y millones de litros. El 74% de las gasolinas y el 51% del diesel fueron comercializados por gasolineras. Las ventas no son iguales a las importaciones debido al efecto de existencias en almacenamiento de productos en las terminales (aumento o disminución de existencias en depósito).

Cuadro 91

HONDURAS: IMPORTACIONES DE HIDROCARBUROS

Producto	2004	2005	2006
Gasolinas			
Valor 1000 US\$	129 320,0	188 781,0	234 438,7
1000 Barriles	2 352,1	2 566,1	2 692,1
Precio US\$/barril	54,98	73,57	87,08
Kerosene + AVJet			
Valor 1000 US\$	26 423,1	39 016,2	44 529,7
1000 Barriles	505,9	510,0	506,3
Precio US\$/barril	52,23	76,50	87,96
Diesel			
Valor 1000 US\$	255 708,2	322 595,3	363 031,6
1000 Barriles	5 307,3	4 490,6	4 455,5
Precio US\$/barril	48,18	71,84	81,48
Fuel Oil			
Valor 1000 US\$	130 735,2	212 610,5	296 124,4
1000 Barriles	4 511,6	5 477,6	6 120,9
Precio US\$/barril	28,98	38,81	48,38
GLP			
Valor 1000 US\$	23 666,1	33 029,9	42 706,3
1000 Barriles	586,5	696,7	795,1
Precio US\$/barril	40,35	47,41	53,71
Lubricantes			
Valor 1000 US\$	21 224,5	21 986,8	31 420,8
Total	587 077,0	818 019,7	1 012 251,5

Fuente: Banco Central de Honduras, 2007.

Cuadro 92

HONDURAS: VENTAS TOTALES DE GASOLINA Y DIESEL EN 2006

Producto	Miles barriles	Millones galones	Millones Litros
Gasolina Superior	2312,0	97,1	367,6
Gasolina Regular	604,2	25,4	96,1
Diesel	4927,4	207,0	783,5

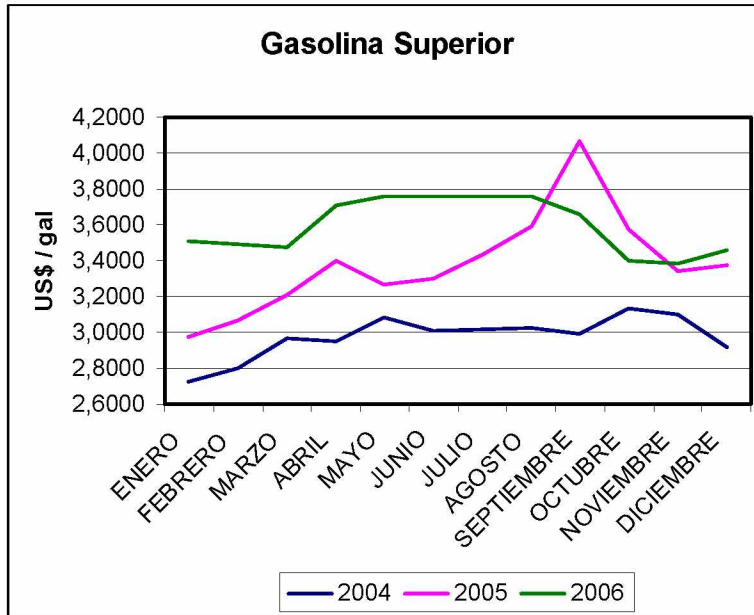
Fuente: CAP/SIC, 2007

Los gráficos 22, 23 y 24 presentan la evolución de los precios al consumidor para la gasolina superior, regular y el diesel, respectivamente.

El aumento de precios del 2004 al 2006, causado por la elevación de precios del petróleo en el mercado internacional, se puede ver en todos los gráficos con un pico en el mes de septiembre de 2005. Para el 2006, los precios no subieron más pero se mantuvieron elevados.

Gráfico 22

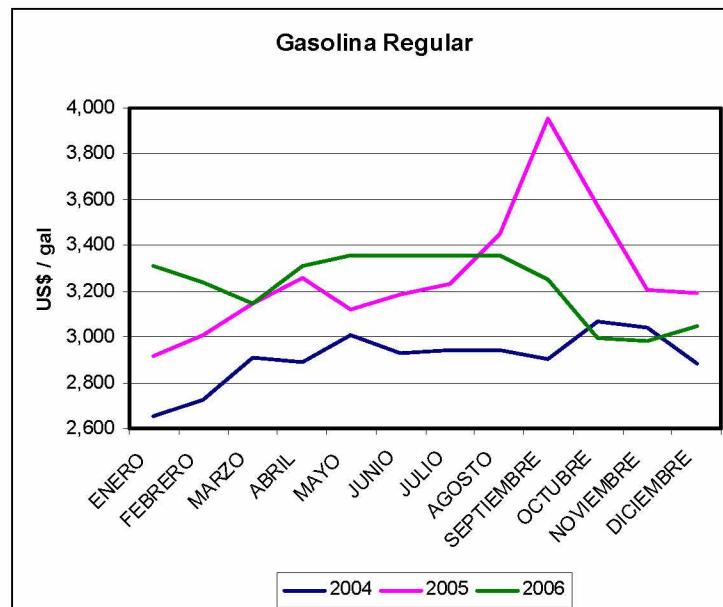
**EVOLUCIÓN DE PRECIOS AL CONSUMIDOR
GASOLINA SUPER: 2004-2006**



Fuente: UTP/SIC Honduras.

Gráfico 23

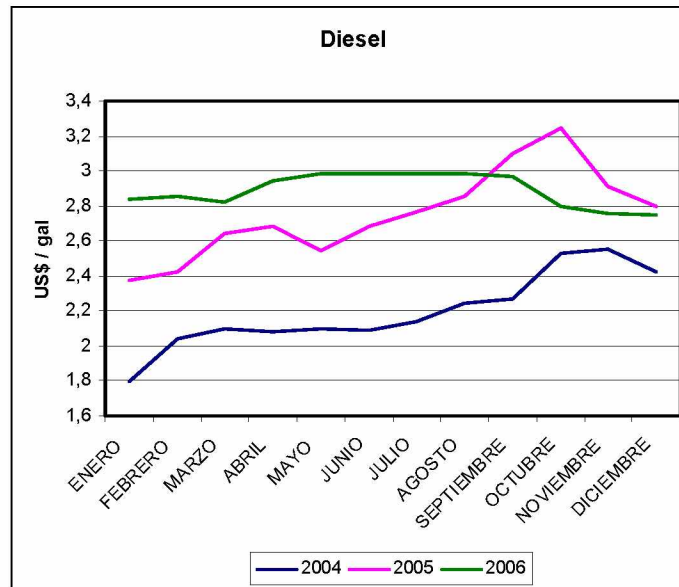
**EVOLUCIÓN DE PRECIOS AL CONSUMIDOR
GASOLINA REGULAR: 2004-2006**



Fuente: UTP/SIC Honduras.

Gráfico 24

**EVOLUCIÓN DE PRECIOS AL CONSUMIDOR
DIESEL: 2004-2006**



Fuente: UTP/SIC Honduras.

Para calcular el precio de paridad de importación de cada producto y definir el precio al consumidor, la Unidad Técnica del Petróleo (UTP/SIC) tomaba en consideración los precios FOB Golfo, hacía ajustes por octanaje, agregaba el flete y seguros, calculaba el precio CIF, tomaba en cuenta el cambio, agregaba los márgenes comerciales de los distribuidores y de los detallistas, el flete terrestre, así como el impuesto único para llegar al precio máximo al consumidor a ser practicado, según el Acuerdo n.24-04 de la SIC y sus alteraciones.

Esta metodología cambió en septiembre de 2006. Ahora, los precios de paridad de importación no serán informados por los importadores, sino que el gobierno va a hacer licitaciones entre los importadores y realizar la adquisición por el menor precio ofertado. El nuevo sistema de definición de precios de paridad de importación está en el Decreto n.2-07. Esta nueva metodología aún está en fase de implementación pero la expectativa es de lograr reducciones en los precios de los combustibles. La UTP cambió de nombre y agregó nuevas funciones: ahora se llama Comisión Administradora del Petróleo y tiene la misión de conducir la licitación. En el sitio de la CAP en Internet (<http://www.cap.gob.hn>) se puede acompañar los eventos de esta licitación internacional. Uno de los problemas que surgieron fue la ubicación del almacenamiento de los productos. El Decreto n.2-07 deL 20 de enero 2007 declaró emergencia de almacenamiento de combustibles para que las instalaciones ya existentes puedan ser usadas por el gobierno. El cuadro 93 muestra las instalaciones de almacenamiento existentes y sus respectivas capacidades para cada tipo de producto.

La mayor capacidad de almacenamiento está en la Reftexsa de Puerto Cortés en el parque de tanques de la refinería que cerró sus actividades en 1992. Existen otras dos empresas que poseen almacenamiento de productos específicos. La Hondupetrol almacena combustibles para

generación eléctrica: dos tanques de diesel con capacidad para 46,1 miles barriles y nueve tanques de fuel oil con capacidad para 273,6 miles barriles. La Gas del Caribe almacena GLP con una capacidad total de 200,1 miles barriles.

Cuadro 93

HONDURAS: CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS

Producto	Petróleos del Atlántico		Petróleos del Pacífico		Reftexsa	
	Num. Tanque	Capacidad 1000 barriles	Num. Tanque	Capacidad 1000 barriles	Num. Tanque	Capacidad 1000 barriles
Super	4	72,6	2	65,2	8	117,7
Regular	1	18,1	2	65,3	1	8,8
Kerosina	1	19,0	0	0	2	38,4
Diesel	6	280,0	2	146,6	9	313,4
Fuel Oil	0	0	2	97,1	7	303,8
LPG	0	0	0	0	17	57,4
AV Jet	1	19,2	1	18,1	0	0
AV Gas	1	10,3	1	8,8	1	2,8

Fuente: CAP/SIC, 2007.

La importación de vehículos en Honduras también es básicamente de vehículos usados. El cuadro 94 indica la flota en el 2006 con los principales tipos de vehículos agrupados. Los datos sobre el tipo de combustible empleado no es claro, pero estimaciones indican que alrededor del 68% de los vehículos son movidos por gasolina y el 32% por diesel.

Cuadro 94

HONDURAS: FLOTA DE VEHÍCULOS

Camioneta de lujo + jeep + pick up	269 202
Sedan + turismo	112 638
Cabezal + camiones	59 687
Motocicletas e ciclomotores	45 753
Autobús + microbús + van	25 929
Furgón camioneta	2 763
Otros	6 352
Total	522 324

Fuente: Dirección Ejecutiva de Ingresos, 2007.

4. La producción de biodiesel actualmente

En 2005, la empresa Dinant, gran productora de palma africana, construyó una planta para producir 100 galones (378 litros) de biodiesel por día en Tocoa, Colón. El producto está siendo empleado en la flota propia de la empresa con 180 camiones y 60 tractores. El costo reportado por el fabricante en julio de 2006 era de US 0,61/litro (US\$ 2,31/galón ó US 693/ton) y el precio de venta es de US 2,52/gal cuando el diesel tenía precio de US 2,84/gal.

Según el representante de la Asesoría de Proyectos Especiales de la Presidencia de la Republica, la Corporación Dinant hoy está en condiciones de producir alrededor de 6.000 galones de biodiesel por día, el grupo Haremar 3.000 galones y productores independientes unos 400 galones, siempre de palma africana. Una empresa que produce filetes de tilapia cultivadas en el lago de Yojoa está usando la grasa de los pescados para también producir biodiesel (hasta 3.000 galones al día).

En septiembre de 2006, el biodiesel empezó a ser empleado en un plan piloto con hasta 320 autobuses de Tegucigalpa, 200 en San Pedro de Sula y 100 en La Ceiba. La mezcla propuesta en el plan piloto es de 5% en septiembre y octubre de 2006, aumentando a 10% en noviembre y diciembre de 2006 y para el 2007, incrementar a 20% de biodiesel en la mezcla. La expectativa de los empresarios de transporte es obtener un combustible alternativo menos contaminante y a menor precio que el diesel de petróleo, al menos en el largo plazo.

Para efectuar el abastecimiento de combustible para los autobuses, la distribuidora DIPPSA construyó un tanque horizontal de 10.000 galones acoplado con un suministrador. La distribuidora Uno separó tanques y suministradores en algunas estaciones de servicio para atender al plan piloto. La mezcla está a cargo de las distribuidoras de hidrocarburos mencionadas y el biodiesel producido por Hondupalma y Dinant es transportado por los productores hacia los puntos de mezcla. La APE/PR coordinó la implementación del plan piloto junto con el Consejo Nacional de Transporte, Dinant, Hondupalma, DIPPSA, UNO, Alcaldías Municipales, SIC, SERNA, SAG y SOPTRAVI (Secretaría de Obras Publicas, Transporte y Vivienda). El consumo previsto de biodiesel B100 para 500 autobuses operando con mezcla de B5 es de 750 galones diarios. De forma proporcional, para B20 el consumo diario esperado es de 3.000 galones de B100. Los datos reales de la implementación del plan piloto aún no estaban disponibles.

5. Aspectos institucionales: marcos legales y de regulación

La principal Ley en vigencia que es relacionada a los biocombustibles es el Decreto 104-93, la Ley General del Ambiente. En su Artículo 1 define, entre otras cosas, que el manejo sostenible de los recursos naturales es de interés público y social. Así, los recursos naturales renovables deben ser aprovechados de acuerdo a sus funciones ecológicas, económicas y sociales de forma sostenible. En el Artículo 49 se explica que los programas de asistencia técnica y crédito agrícola deben tener en cuenta las técnicas adecuadas para la conservación del suelo.

Existe en trámite en el Congreso de Honduras desde septiembre de 2006 un Anteproyecto de Ley para la Producción y Consumo de Biocombustibles. Este proyecto es considerado por el gobierno como parte fundamental del megaproyecto de producción de biodiesel en Honduras (véase adelante). La Ley tiene como finalidad establecer el marco jurídico para la producción y la comercialización de biocombustibles y sus principales aspectos son:

- Declarar de interés nacional la investigación, producción y uso de biocombustibles, para generar empleo, aumentar la autosuficiencia energética y contribuir a disminuir la contaminación ambiental local y global.

- Exentar durante 15 años improrrogables toda clase de impuestos y tasas (incluso arancelarias) los bienes usados en la construcción y equipos empleados en el mantenimiento y operación de plantas de producción.
- Exentar durante 10 años improrrogables del Impuesto de Renta e Impuesto al Activo Neto los ingresos debidos a la comercialización del biocombustible.
- Exoneración del FOVIAL para la parte de biocombustibles en mezcla con los productos de petróleo – 15 años; después, pagar 25% del valor del FOVIAL para el producto que se sustituye.
- El gobierno determinará las fórmulas de mezcla y los oxigenantes a usar.
- Se dará prioridad a materias primas locales en condiciones de mercado
- La realización de las mezclas, distribución y comercialización se harán a través de las empresas de la cadena de hidrocarburos (distribuidoras y estaciones de servicio).

Con relación a acuerdos internacionales, en la XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y Caribe realizada en Panamá en noviembre de 2003, los países presentes aprobaron la Plataforma de Brasilia que proyecta un 10% del consumo de energía a partir de fuentes renovables, y los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Honduras está incorporando los principios del desarrollo sostenible para promover el desarrollo humano y social para alcanzar las metas del Milenio en el país.

Existe una Asociación privada para fomentar el empleo de energías renovables, la Asociación Hondureña de Pequeños Productores de Energía Renovable (AHPPER). Aunque su atención esté centrada fundamentalmente en la generación de electricidad, sus objetivos buscan apoyar iniciativas que superen los obstáculos que bloquean los proyectos de uso de energía renovable en general. El desarrollo sostenible y soluciones efectivas para los problemas sociales y ambientales son sus metas de largo plazo. Esta Asociación puede contribuir para agregar a los pequeños productores de palma o de biodiesel en el futuro.

6. Escenarios para producción de biodiesel

a) Evaluaciones de proyectos en curso

La Presidencia de la Republica de Honduras propuso al inicio del 2006 un megaproyecto para uso de biodiesel en Honduras con la meta de cultivar 200.000 hectáreas de palma africana, materia prima para alrededor de 200 millones de galones de biodiesel. La propuesta es sustituir el diesel de petróleo de forma progresiva y se estima en 626 millones de dólares el costo total del proyecto de sustitución total del diesel de petróleo con ahorro de US\$ 370 millones por año en la factura de importaciones de diesel.

En mayo de 2006 llegaron las primeras 50.000 semillas de híbrido de palma importadas de Malasia. Según el SAG, ya están listas en la región del Caribe 20.000 hectáreas para empezar el cultivo, involucrando a alrededor de 3.000 productores. Las áreas en vista para la expansión del cultivo de la palma son aquellas de los valles del Aguán, Leán, Sico, Sula y Mosquita. Es

necesario tener en cuenta que una parte de las tierras identificadas poseen dificultades ambientales o son áreas de protección, especialmente en la Mosquita.

A pesar de ser promovido e impulsado por el gobierno, el megaproyecto es un emprendimiento del sector privado. Corresponde al gobierno actuar como facilitador y cogestor de los recursos económicos proporcionando asistencia técnica a los productores. El gobierno también se propone gestionar ante los bancos de desarrollo tasas de interés y amortización favorables al igual que períodos de gracia para el cultivo de palma.

La evaluación preliminar del proyecto de producción de 200 millones de galones de biodiesel está presentada en el cuadro 95. Las inversiones suman 626 millones de dólares incluyendo la etapa agrícola, de extracción de aceite y producción de biodiesel. Una evaluación económica para los productores de palma empleó como hipótesis de trabajo un costo de capital anual de 8%, un precio de US\$ 65 por tonelada de frutos, y la siembra de 10 hectáreas. Se calculó el flujo de efectivo para los 25 años del proyecto, que resultó en una tasa interna de retorno de 22,5% para los plantadores independientes (Centeno, 2007, información personal).

Cuadro 95

HONDURAS: EVALUACION DEL MEGAPROYECTO DE BIODIESEL DE PALMA

Etapa	Descripción	Costo total US\$	US\$/ha
Agrícola	Sin adquisición de tierras	455 000 000	2275
Extracción	1 000 ton/h de frutos y almendras	88 000 000	440
Refinación	2 500 ton / día de aceite	25 000 000	125
Biodiesel	2 300 ton / día de biodiesel	58 000 000	290
Total	Para los 25 años del proyecto	626 000 000	3130

Fuente: APE/PR, 2006.

La meta propuesta para el año 2007 es conducir el plan piloto de uso de biodiesel B20 en las flotas de autobuses. Esta meta está amenazada por los elevados precios de la palma en los mercados internacionales de aceites y grasas vegetales. La producción de biodiesel se volvió anti-económica y las entregas de producto para el plan piloto (autobuses en Tegucigalpa) están casi paradas.

Los elementos críticos para el éxito del proyecto, identificados por la APE/PR, son la aprobación de la Ley de Biocombustibles en el Congreso, la identificación de tierras aptas para el cultivo de la palma, la obtención de semillas de calidad y de financiamiento adecuado.

Con relación a los aspectos ambientales del incremento de área de siembra de palma para biodiesel, la SERNA hizo un oficina con alrededor de veinte asociaciones ambientalistas y el proyecto fue bien aceptado. Las preocupaciones de las ONGs fueron con relación a monocultivo y biodiversidad, la eliminación de otros cultivos con fines alimenticios o la destrucción de bosques para ceder tierras a la palma. El proyecto pretende emplear tierras ociosas o de ganadería y no deberá deforestar ni desplazar otros cultivos.

Además de la palma africana, el gobierno pretende impulsar otros cultivos, como el piñón (*Jatropha*) e higüerillos, en regiones con suelos que no son propicios para otros cultivos. El uso del aceite de tilapia también está siendo considerado. Con el ahorro de divisas de importación de diesel, se pretende generar alrededor de 300.000 empleos directos o indirectos y fijar en el campo las poblaciones con incremento de su renta.

A través de un cuestionario dirigido al representante de la Fenapalma, se obtuvo la visión del sector productor de palma sobre las perspectivas del biodiesel. En resumen, la Fenapalma opina que la mejor forma de introducir el biodiesel en la matriz de consumo de combustibles es a través de su uso en flotas cautivas. De acuerdo con su visión, recomiendan empezar con mezclas de 20% en autobuses y subir los porcentajes hasta 90%; posteriormente, evaluar su uso en vehículos de carga y sólo entonces hacer la distribución del producto en gasolineras. Con relación a la posibilidad del biodiesel para hacer competencia con el diesel, la evaluación de la Federación es que esto es posible si el precio del petróleo es mayor a US\$ 60 / barril. La Federación defiende que la calidad del producto es esencial para que no se dañen motores y no se desprestigie el producto frente a los consumidores.

b) Evaluaciones y recomendaciones de este Informe

La cuestión de la calidad del biodiesel producido en Honduras aún debe ser resuelta. No existen laboratorios capaces de certificar la calidad del producto de acuerdo con el futuro reglamento técnico para el biodiesel (RTCA 75.02.43:06). Una empresa que presta servicios de laboratorio de certificación para hidrocarburos importados en Honduras posee capacidad de realizar algunas pruebas de calidad, pero no las principales. Sólo su matriz en Houston (EUA) posee los equipos para realizar los principales ensayos (contenido de metanol, número de cetano, contenido de ésteres y de glicerina, etc.).

La CAP/SIC tiene preocupaciones con la ausencia de condiciones de verificación de la calidad del biodiesel: ¿Cómo hacer la verificación de la calidad del producto? ¿Cómo hacer la fiscalización para garantizar el producto a los consumidores? ¿Cuál será el costo para certificar la calidad del biodiesel?

Dos Universidades, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad Católica, están elaborando o ya concluyeron estudios sobre biodiesel. Estas instituciones pueden ser muy importantes para desarrollar investigación y estudios en todas las etapas de la cadena del biodiesel: manejo agrícola de especies no comerciales, rendimientos de extracción de aceites de las oleaginosas, estudios sobre el proceso de transesterificación, tratamiento de efluentes del proceso y, en particular, cómo valorar la glicerina bruta del proceso.

El Consejo Hondureño de Ciencia y Tecnología puede ser el punto central para la cuestión de certificación de calidad del biodiesel. El montaje de un laboratorio completo de referencia parece interesante para dirimir dudas acerca de la calidad del producto.

Con referencia a la disponibilidad de tierras para la producción de oleaginosas, se hizo una estimación de la demanda de diesel en Honduras en los próximos años y la demanda de tierras para obtener un 5% de sustitución de diesel (B5), presentada en el cuadro 96. Las oleaginosas consideradas fueron la palma, ya producido en el país, y el tempate (piñón). Para la

palma, las hipótesis empleadas fueron: i) el crecimiento de consumo de diesel es de un 4% al año; y ii) el rendimiento agrícola de la palma es el valor histórico (alrededor de 15 toneladas de frutos por hectárea). A pesar de que es posible obtener rendimientos mayores a 20 toneladas de frutos por hectárea, el crecimiento de productividad no ocurre con rapidez y las nuevas siembras hacen caer el valor promedio.

Como hipótesis para la estimación de área de siembra de tempate se emplearon productividades agrícolas e industriales conservadoras: 1,8 toneladas de semillas secas por hectárea por año para el tempate, rendimiento de extracción de aceite, de 87% en masa; rendimiento de conversión de aceite en biodiesel de 98% en masa y contenido de aceite en las semillas secas de 38%. Si las productividades resultan ser mayores la viabilidad aumentará.

Cuadro 96

HONDURAS: ESTIMACIONES DE AREA DE SIEMBRE PARA BIODIESEL

		2007	2008	2009	2010	2011
Diesel	millones litros	814,8	847,4	881,3	916,6	953,2
B5	millones litros	40,7	42,4	44,1	45,8	47,7
Área B5 Palma	1 000 ha	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5
Área B5 Tempate	1 000 ha	61,5	63,9	66,5	69,3	71,9

Fuente: Elaboración propia, con hipótesis presentadas en los dos párrafos que preceden al cuadro.

En el cuadro se puede observar que el área de palma necesaria es de entre 11 y hasta 14 mil hectáreas, constituyendo poco más del 15% de toda el área de palma que ya existe hoy. Esto no es obtenible a corto plazo porque no se puede olvidar que la palma sólo empieza a producir cuando tiene alrededor de cinco años. Las inversiones necesarias son también elevadas. En el corto plazo, el aceite de palma disponible para hacer biodiesel será el que hoy se comercializa para fines alimenticios, ya sea para consumo interno o exportación. Se crea entonces una competencia negativa entre el sector energético y el sector alimenticio: los precios del aceite suben, los consumidores tradicionales son perjudicados y los productores de biodiesel pierden competitividad o la misma viabilidad del emprendimiento.

En el caso del tempate, para obtener el volumen de biodiesel necesario para sustituir 5% de diesel se requieren áreas muy grandes. Una vez más, no será posible obtener valores tan elevados de producción en cortos plazos a pesar de que el tempate empieza a producir con dos años de edad. Se observa que el cultivo de tempate debe ocupar tierras de baja calidad para no hacer competencia con la producción de alimentos u otros productos de exportación que requieren áreas de buena productividad.

Con base en la información obtenida, cuestiones de disponibilidad de tierras no son críticas para la introducción del biodiesel en Honduras. Por un lado, el aumento de siembra de palma africana puede ocurrir sin desplazar otros cultivos; por otro lado, para emplear el piñón, las áreas escogidas no hacen competencia con la producción de alimentos para uso interno. Al contrario, es de interés del gobierno desarrollar el tempate en el sur del país y apoyar la

producción de biodiesel de grasas de pescado, diversificando las fuentes de materias primas para el biodiesel de acuerdo con las disponibilidades de cada región del país.

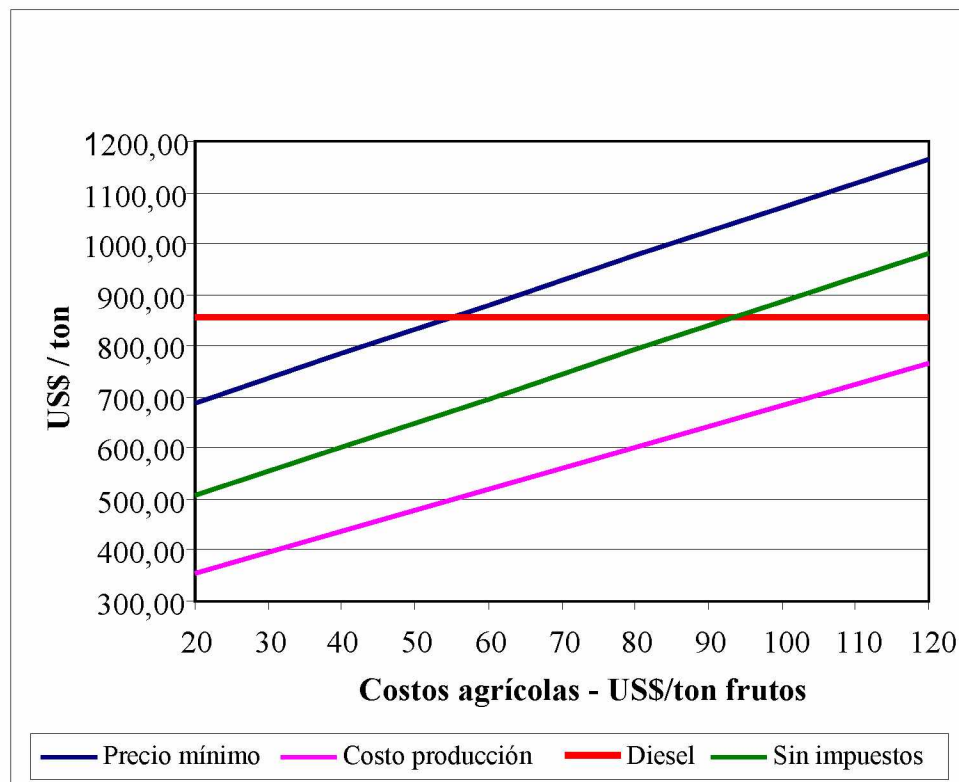
Desde el punto de vista industrial, la tecnología de producción de aceite de palma ya es conocida en el país y la tecnología de producción de biodiesel no es muy sofisticada. El país tiene condiciones de absorber sin problemas el *know-how* de este nuevo producto.

La cuestión crucial para la evaluación económica de la viabilidad de uso del biodiesel es determinar su costo de producción. El parámetro contra el cual se hacen comparaciones es el precio de mercado para el diesel, que es el producto a ser sustituido. En diciembre de 2006 el precio del diesel era de LEMP 52,00 por galón (US\$ 2,75 por galón ó US\$ 855,3 por tonelada). A continuación se presentará una evaluación de costos y precios de biodiesel producido de palma y de tempate.

Empleando las hipótesis presentadas en el capítulo III para determinación de costos y precio mínimo para el biodiesel, se construyó el gráfico 25 para el costo del biodiesel de palma obtenido a partir del costo agrícola de toneladas de frutos de palma. El precio mínimo considera 15% de ganancia para el productor de biodiesel sobre el costo de producción, los márgenes comerciales de distribución y ventas, así como el impuesto único de Honduras para el diesel. El precio “sin impuestos” supone exención total del impuesto.

Gráfico 25

HONDURAS: COSTOS Y PRECIOS, BODIESEL DE PALMA



Fuente: Elaboración propia. Datos de Honduras.

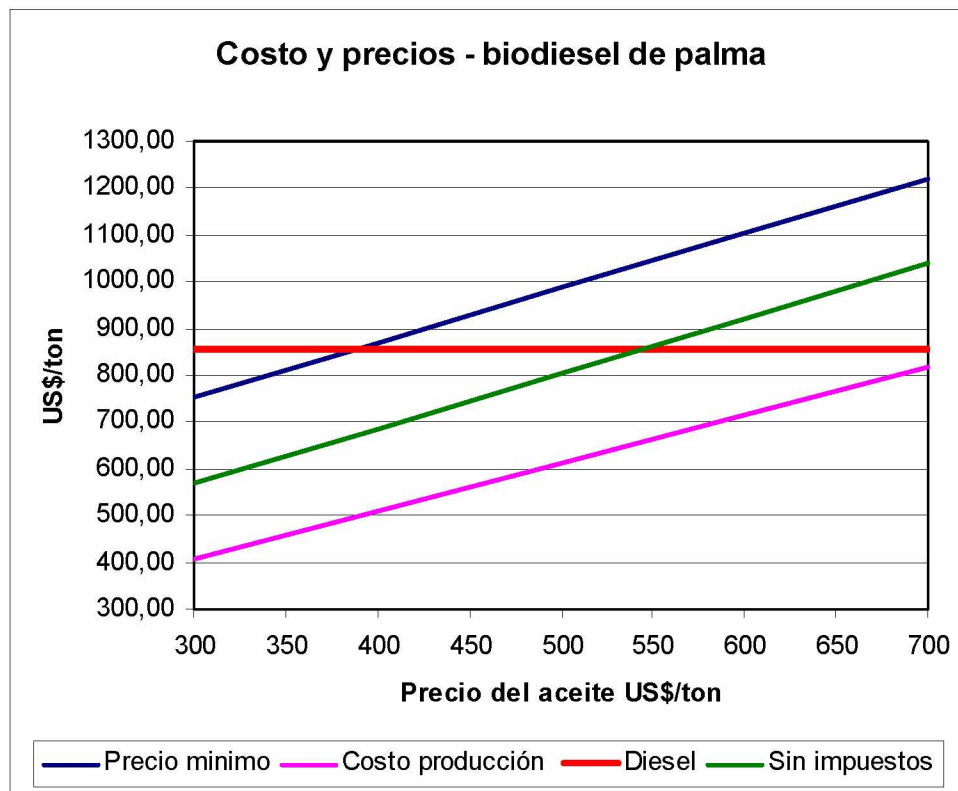
El análisis del gráfico 25 indica que el biodiesel de palma, incluyendo los impuestos, puede hacer competencia con el diesel si el costo agrícola de la tonelada de frutos es menor que US\$ 55 por tonelada. Si existe exención total del impuesto único, el precio mínimo sin impuestos permite competencia hasta que el costo agrícola llegue a US\$ 92. En el rango de valores de costo agrícola de la tonelada de frutos de palma, el costo de producción de biodiesel (sin márgenes ni impuesto) es siempre menor que el precio del diesel de petróleo.

Otro factor importante es que la producción de biodiesel puede ser un ancla para situaciones donde los precios del aceite de palma no estén buenos o que no se encuentre facilidad en su exportación.

Para productores de biodiesel que dependen de adquisiciones de aceite de palma a precios de mercado los costos serán mayores. El gráfico 26 muestra cómo el precio de mercado de aceite de palma eleva los costos del biodiesel producido.

Gráfico 26

HONDURAS: COSTOS Y PRECIOS, BIODIESEL DE ACEITE DE PALMA



Fuente: Elaboración propia. Datos de Honduras.

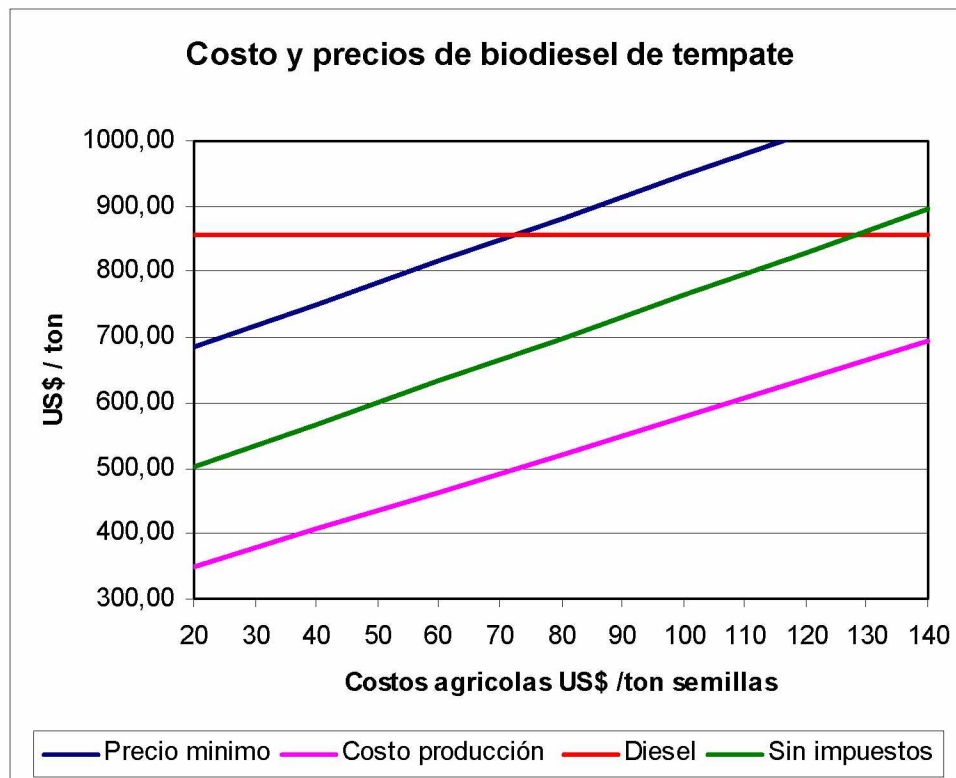
En este caso, el precio mínimo del biodiesel sólo permite que el productor use aceite de palma si el precio de mercado de este aceite es menor que US\$ 370 por tonelada de aceite. Si existe la exención del impuesto, el precio del aceite puede ser de hasta US\$ 550 por tonelada. Para precios de aceite mayores, los márgenes de comercialización, distribución o de producción deben ser reducidos cada vez más. Cuando el precio del aceite es alrededor de US\$ 710 (afuera del gráfico), el costo de producción sin márgenes es alcanzado.

Un análisis similar fue hecho para el biodiesel de tempate (*Jatropha curcas*). El gráfico 27 presenta el costo de producción y los precios mínimos con o sin impuesto como una función de los costos agrícolas de semillas secas.

El precio mínimo con impuesto para el biodiesel de tempate presenta viabilidad hasta que los precios agrícolas de semillas lleguen a US\$ 72 por tonelada. Con exenciones de impuestos, el costo de la materia prima (semillas) puede ser de hasta US\$ 128 por tonelada. En el rango de costos agrícolas entre US\$ 72 y US\$ 128 por tonelada, la reducción de impuesto no necesita ser total.

Gráfico 27

HONDURAS: VIABILIDAD PARA LA JATROPHA (TEMPATE)



Fuente: Elaboración propia. Datos de Honduras.

Es importante mencionar que las figuras de arriba deben ser tomadas con cautela pues traen consigo una serie de hipótesis que de no ser cumplidas pueden cambiar valores de precio y costos, y afectar de modo importante las conclusiones de su análisis.

Finalmente, como la competencia económica del biodiesel se hace con el diesel de petróleo, es importante tener en cuenta los precios del petróleo y de los hidrocarburos en el mercado internacional. Si los precios del barril de petróleo disminuyen, la viabilidad del biodiesel es afectada negativamente y viceversa si los precios del barril suben. De cualquier forma, independientemente de la tendencia a corto plazo de los precios de petróleo, es importante que se defina si el biodiesel es importante para la matriz energética y para el desarrollo agrícola o no, para así planear en el largo plazo.

Si el país desea introducir el biodiesel en su matriz, es necesario que se establezca un sistema de control de calidad y certificación del producto para que no ocurran problemas en los motores con impactos sobre consumidores u operadores de flotas. Por seguridad, se aconseja que las mezclas sean de bajos porcentajes de biodiesel en el inicio y posteriormente, con el aumento de la experiencia con este nuevo producto, se puede aumentar la proporción de biodiesel en la mezcla.

VIII. RECOMENDACIONES GENERALES Y CONCLUSIONES

1. Condiciones generales para la introducción del biodiesel

a) La implantación de un programa de biodiesel: ¿por qué?

La oportunidad de introducir el biodiesel en la matriz energética de un país debe ser evaluada a partir de las fuerzas que actúan como motivadoras. Estas fuerzas son de diferentes naturalezas (estratégicas, económicas, ambientales y sociales) y actúan y se combinan de diversas maneras para diferentes países, aunque hay veces en que estas fuerzas son contrarias y se pueden anular.

Las fuerzas de naturaleza estratégica son asociadas a perspectivas de reducción de dependencia externa, diversificación de la matriz energética, seguridad energética, diversificación de la pauta de exportaciones para disminuir los riesgos de mercados volátiles y el desarrollo de la ciencia y tecnología local.

Las fuerzas de naturaleza económica son afectadas por las cuentas externas: con posibilidades de obtener recursos provenientes de las exportaciones, del aprovechamiento de vocaciones agrícolas locales, de la viabilidad financiera del negocio y de los impactos (positivos o negativos) sobre los precios en general, al valor de los impuestos o a las exenciones de impuestos, así como a la posibilidad de obtener bonos de carbón.

Las fuerzas de naturaleza ambiental están enfocadas en la reducción de emisiones de gases contaminantes de los motores, en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en toda la cadena de producción del combustible, en aumentar la participación de energías renovables en la matriz energética, en mantener la preservación de vegetación y bosques naturales y en el desarrollo sostenible de la economía con énfasis en el uso sostenible del suelo y del agua.

Las fuerzas de naturaleza social se vuelven hacia la fijación de familias en el campo, la expansión de las posibilidades de empleo, la creación de rendimientos para los campesinos, la reducción de la pobreza y la priorización de la producción de alimentos y no de combustibles (seguridad alimenticia).

Cabe observar que en cada país la importancia relativa de estas fuerzas es diferente. En algunos países, la cuestión ambiental prevalece de forma incuestionable aunque las fuerzas económicas apunten en otra dirección (por ejemplo, Suecia con el uso de etanol en autobuses). En otros casos, las fuerzas económicas, sociales y ambientales se combinan de forma positiva como en Alemania. De este modo, cada país debe buscar el punto de equilibrio de estas fuerzas que sea el más adecuado a su situación. Es necesario ponderar de forma explícita todas las ventajas y desventajas identificadas para que la toma de decisión pueda ser robusta. En el caso de existir sinergia positiva entre las fuerzas, existen buenas perspectivas de éxito.

b) Jerarquía de los mercados de aceites y grasas

Los aceites y grasas vegetales y animales poseen niveles jerárquicos de segmentación de mercado: los mercados farmacéutico, químico, alimenticio y energético.

Más allá de simple caracterización, estos niveles jerárquicos son asociados al tamaño del mercado y a los precios admisibles. El cuadro 97 (Parente, 2004) indica el orden de grandeza de cada uno de los segmentos y de los precios máximos admisibles para los aceites.

Cuadro 97

JERARQUÍA DE MERCADOS SEGMENTADOS

Mercados	Tamaño	CARACTERÍSTICAS	
		Volúmenes ton/Año	Precios Admisibles US\$/ton
Farmacéutico	Muy limitado	< 100.000	> 2 000
Químico	Moderado	< 1.000.000	700 – 2 000
Alimentar	Muy grande	> 10.000.000	450 – 700
Energético	Muy grande	>10.000.000	<450

Fuente: Parente, 2004.

Cuando un dado producto es producido en bajas cantidades, pero es adecuado al mercado farmacéutico, sus precios son muy elevados y, por lo tanto, es mucho más interesante usarlo en este mercado (costo de oportunidad). Cuando las cantidades producidas exceden la capacidad de un mercado los precios caen y el nivel jerárquico de abajo empieza a utilizarla también. La saturación de los mercados ocurre de arriba hacia abajo, es decir, del mercado farmacéutico hasta el energético. Los precios internacionales de los aceites son un indicador de hasta qué tipo de jerarquía está siendo atendida: precios muy elevados lo colocan fuera de los mercados de jerarquía más baja. Para suplir el mercado energético, los precios de las materias primas deben ser los más bajos y los volúmenes producidos deben ser altos.

Es importante notar que si un dado aceite no es comestible, esta jerarquía tiene tan sólo tres niveles y, del uso en el mercado químico, pasa directamente a suplir el mercado energético. Este es el caso del higüerillo y del piñón (*Jatropha curcas*).

c) El biodiesel y los consumidores

Para que los consumidores acepten un nuevo producto, es esencial que tengan confiabilidad en su calidad y que su uso no afecte en forma negativa el desempeño del vehículo. Como ya se describió en el punto 3 del capítulo I, la calidad del biodiesel está garantizada a través de sus especificaciones técnicas. Para varias características, el biodiesel es superior al diesel de petróleo, aunque estas características no son las críticas. Para otras características, el biodiesel presenta calidad inferior al diesel: toda la atención debe estar centrada a estas características que son las que pueden causar problemas en el motor y reducir el apoyo de los consumidores.

Las características de escurrimiento del biodiesel en bajas temperaturas deben ser tratadas con atención en caso de que el producto venga a ser empleado en porcentajes elevados en la

mezcla, o puro (B100) con temperaturas ambientes por debajo de 15°C. Es posible tratar el biodiesel (con pérdida de producción y aumento de costos) para mejorar estas características.

Otra desventaja del biodiesel es el aumento de consumo; como un litro de biodiesel posee menor cantidad de energía (11%) que un litro de diesel, para la misma potencia es necesario usar un poco más de biodiesel. Esto debe estar claro a los consumidores para que no se sientan “engañados” por el nuevo combustible. Para el B20, el aumento de consumo es alrededor del 2,2%. Para mezclas de porcentajes bajas de biodiesel (B2 o B5), el aumento de consumo es muy bajo y sólo puede ser detectado en pruebas de laboratorio.

Los productores de vehículos tienen posturas conservadoras en cuanto a modificaciones en los combustibles. De hecho, ellos desarrollaran los motores para un determinado combustible y si el combustible es cambiado el desempeño no puede ser mantenido.

En el “World Wide Fuel Chart” de 2005 (publicación de los fabricantes de vehículos con las especificaciones de combustibles aceptadas de forma general, sin restricciones), los fabricantes se comprometen a mantener la garantía de los vehículos para combustibles Categoría 1 a 3 hasta mezclas B5¹ donde el biodiesel atiende ambas normas, ASTM 6751 y EN 14241. Para combustibles en la Categoría 4, los fabricantes aún no aceptan el biodiesel. Pero esta es la categoría de combustibles requerida por los fabricantes de vehículos para sus modelos más avanzados.

Para que los consumidores no se queden sin garantías del fabricante, se debe conducir un programa de biodiesel junto con los fabricantes (o sus representantes en el país) de forma que las pruebas requeridas sean realizadas los fabricantes sean parte integrante del programa comprometidos y con él.

Como ejemplo de problemas con consumidores, se puede citar el caso del Estado de Minnesota, con mezclas B2. El gobierno del estado introdujo la obligatoriedad del 2% en todo diesel comercializado en septiembre de 2005. A pesar de ser un porcentaje bajo de biodiesel, muchos consumidores tuvieron problemas con el combustible debido a la formación de gomas y obstrucción de filtros, que generó grandes protestas de la Asociación de los Camioneros. Los problemas fueron causados por las bajas temperaturas ambientes en el estado y porque buena parte del biodiesel comercializado no estaba de acuerdo con la Norma de calidad ASTM 6751 y presentaba exceso de glicerina. El programa fue suspendido y reprogramado para otra fecha en 2006 con introducción de

¹ World Wide Fuel Chart 4 (2006), Four different categories of fuel quality have been established for both unleaded gasoline and diesel fuel. **Category 1:** Markets with no or first level of emission control; based primarily on fundamental vehicle/engine performance and protection of emission control systems. For example, markets requiring US Tier 0 and EURO 1 emission standards. **Category 2:** Markets with stringent requirements for emission control or other market demands. For example, markets requiring US Tier 1, EURO 2 or 3, or equivalent emission standards. **Category 3:** Markets with advanced requirements for emission control or other market demands. For example, markets requiring US/California LEV or ULEV, EURO 3, JP 2005, or equivalent emission standards. **Category 4:** Markets with further advanced requirements for emission control to enable sophisticated NOx and particulate matter after-treatment technologies. For example, markets requiring US EPA Tier 2 or 2007 / 2010 Heavy Duty On-Highway, US EPA Non-Road Tier 4, US California LEV-II, EURO 4, EURO 5 Heavy Duty, or equivalent emission standards.

certificados de calidad para el biodiesel y fiscalización de la calidad del producto y penalidades severas a la comercialización de biodiesel fuera de especificaciones. Después de la introducción de estas modificaciones, no se registró más problemas con los vehículos.

2. Cuestiones ambientales y de sostenibilidad

a) El desempeño ambiental del biodiesel

De las ventajas presentadas por el biodiesel, las cuestiones ambientales y de sostenibilidad son las más explicitadas. Desde el punto de vista de emisiones de contaminantes por el motor, el biodiesel posee mejores índices de emisiones que el diesel. Una cuestión que es frecuentemente mencionada es que el biodiesel no posee azufre. De hecho, la cantidad de azufre en el biodiesel es pequeña y en países que usan diesel con porcentajes altos de azufre, este es un claro beneficio, sin embargo, en países que ya emplean el diesel de ultra bajo porcentaje de azufre, esto no puede ser olvidado. Como ejemplo, se reproduce en el cuadro 98 una comparación entre las propiedades del biodiesel y el diesel, presentada en un estudio de la EPA (2002) de Estados Unidos. Lo que ocurre es que el contenido de azufre en el diesel de contenidos ultra bajos de azufre ya está cerca de 50 ppm, menos que el del biodiesel del cuadro. En Estados Unidos ya se habla en diesel con hasta 10 ppm de azufre. En estos casos, el contenido de azufre del biodiesel debe ser verificado.

Cuadro 98

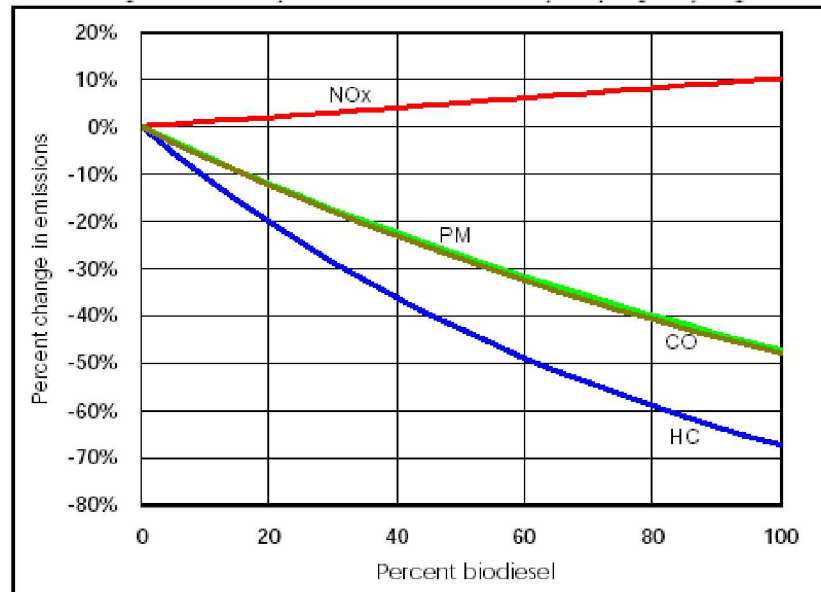
PROPIEDADES PROMEDIAS DE DIESEL Y BODIESEL

	Biodiesel promedio	Diesel promedio
Número de cetano	55	44
Azufre, ppm	54	333
Nitrógeno, ppm	18	114
Aromáticos, % vol.	0	34
Densidad relativa	0,88	0,85
Viscosidad cSt a 40 °C	6,0	2,6

Fuente: EPA, 2002.

El gráfico 28 presenta lo que ocurre con las emisiones de los contaminantes más importantes con motores empleando biodiesel en mezclas con diesel comparadas al diesel; nótese que 0% biodiesel es el diesel puro y 100% biodiesel es el biodiesel puro. Se debe resaltar que el único contaminante que tiene aumento de emisiones en el caso del biodiesel es el óxido de nitrógeno. Los resultados presentados en el gráfico 28 son promedios, fruto de mediciones en varios motores diferentes con diversos resultados. Para un dado motor, los valores reales pueden ser bastante diferentes de los presentados en el gráfico, pero las tendencias son siempre las mismas. Como se puede observar, las emisiones de hollín y partículas y las emisiones de monóxido de carbón son prácticamente coincidentes y la disminución con relación al diesel llega casi al 50%. Las emisiones de hidrocarburos son aún más pronunciadas, ya que disminuyen hasta el 68%. Las emisiones de óxidos de nitrógeno aumentan hasta un 10%. Cabe resaltar que para motores más modernos, las emisiones de óxidos de nitrógeno son aún más pronunciadas alcanzando hasta un 30% (EPA, 2002).

Gráfico 28

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES. BASE: DIESEL

Fuente: EPA, 2002 a comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions. United States Environmental Protection Agency, Report EPA-420-02-00, October.

b) La sostenibilidad ambiental del biodiesel

La evaluación de emisiones de contaminantes presentes en los gases eliminados por el motor es importante pero no toma en cuenta la producción del combustible. Para evaluar la sostenibilidad ambiental del biodiesel, EPA (2002) empleó el método de análisis de ciclo de vida. Para el diesel, se evaluaron las emisiones por toda cadena del petróleo hasta la combustión del combustible en el motor. Para el biodiesel, se evaluó la cadena agrícola de producción de soya y las etapas industriales (extracción de aceite y transesterificación), incluyendo el empleo de derivados de petróleo en forma de abonos o fertilizantes agrícolas, y uso de combustibles fósiles en la cadena de producción. El análisis de ciclo de vida mostró que:

- Las emisiones de dióxido de carbono –el principal gas del efecto invernadero– es mayor para el biodiesel que para el diesel hasta en un 3%. Como la mayor parte del carbono del biodiesel es proveniente de la biomasa, su contribución al efecto invernadero no existe pues es un carbono que ya estaba en la atmósfera y fue absorbido durante el crecimiento de la oleaginosa (ciclo del carbono). Al contrario, el carbono del diesel es de origen fósil y estaba presente en el petróleo.
- Las emisiones de dióxido de carbono, a pesar de ser mayores, son casi todas de origen renovable. El análisis de ciclo de vida muestra que la parte no renovable se debe al uso de derivados de petróleo (combustibles, defensivos agrícolas, extracción por solvente, etc.) a lo largo de la cadena de producción del biodiesel. Las reducciones netas de dióxido de

carbón están en alrededor de 78% en el caso de la soya, pero este valor puede ser aún mayor para otras oleaginosas.

- El ciclo de vida del biodiesel produce 32% menos partículas y hollín y 35% menos monóxido de carbón.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno son 13% mayores para el biodiesel.
- Las emisiones de hidrocarburos son 35% mayor para el biodiesel debido a uso de fertilizantes agrícolas en las plantaciones de soya y empleo de hexano en el proceso de extracción del aceite. Esto ocurre a pesar de que existe fuerte reducción de emisiones de hidrocarburos en el gas de escape de los motores. Para otras oleaginosas y para otros tipos de proceso de extracción estos valores pueden cambiar mucho de forma favorable al biodiesel.
- La generación de aguas residuales contaminadas es 80% menor para la producción del biodiesel que para la producción del diesel. Lo mismo ocurre para residuos sólidos peligrosos en magnitud aún mayor: el biodiesel genera sólo un 5% de los residuos de la producción de diesel.
- El consumo de agua para producción de biodiesel es alrededor de tres órdenes de magnitud, mayor que para la producción de diesel, es decir, 1.000 veces mayor.

c) **Sostenibilidad energética del biodiesel**

La sostenibilidad energética es evaluada de modo muy similar al método de ciclo de vida para contaminantes. El National Renewable Energy Laboratory (Sheehan y otros, 1998) de los Estados Unidos efectuó una evaluación de la energía total que se emplea para la producción de diesel y de biodiesel y la cantidad de energía contenida en cada uno de estos combustibles. La evaluación toma en cuenta, para el caso del diesel, la energía fósil empleada para la extracción de petróleo (92%), refinación para obtener los derivados (5,4%), transporte del petróleo y del diesel (2,6%). En el caso el biodiesel, se toma en cuenta la etapa agrícola de la soya (21%), la extracción del aceite de soya (26%), la transesterificación (48,5%) y el transporte de la soya del aceite y del biodiesel (4,5%).

Para producir una unidad de energía en el diesel se emplean 1,2 unidades de energía fósil. Para el biodiesel, para cada unidad de energía en el producto se emplean tan sólo 0,3125 unidades de energía fósil. De otra forma, para el diesel, se obtiene 0,83 unidades de energía para cada unidad de energía fósil, mientras que para el biodiesel se obtienen 3,2 unidades de energía por unidad de energía fósil empleada en la producción. Se debe resaltar que este efecto “multiplicador” es lo que confirma el carácter renovable del biodiesel.

Resultados similares se obtuvieron en otros estudios de la colza en Europa. Los números varían de acuerdo con los subproductos considerados, pero en el peor caso (sólo el biodiesel) se emplea 0,74 unidades de energía fósil para cada unidad de energía obtenida en el biodiesel de colza; en el mejor caso, se obtuvo un factor 0,26.

Los mejores valores de sostenibilidad se obtienen para la palma africana: de 0,178 unidades de energía fósil por unidad de energía en el biodiesel hasta el 0,104 (es decir, 5,6 hasta 9,6 unidades de energía en el biodiesel por unidad de energía fósil empleada (Kaltner y otros, 2005).

A pesar de las ventajas ambientales y de la sostenibilidad energética de su producción, el biodiesel no puede ser visto como la solución final para la sustitución de todo el diesel porque las áreas de siembra necesarias son muy elevadas y la competencia por tierra podría causar daños a la producción de alimentos. Los volúmenes de diesel consumidos son muy elevados.

Finalmente, es importante tener en cuenta que los beneficios ambientales del biodiesel deben ser entendidos como una compensación extra y no como el principal motivo para su empleo. Para países en desarrollo, los compromisos con el Protocolo de Kyoto no son obligatorios. Además, la cantidad de diesel a ser sustituida es pequeña y los beneficios ambientales serán proporcionales al grado de sustitución.

3. Recomendaciones de carácter general

a) ¿Mercado de aceites o biodiesel?

En los países de Centroamérica, la única oleaginosa ya producida en grandes cantidades es la palma. El aceite de palma se viene consumiendo desde hace más de 5.000 años en África, mientras que en el continente americano, el cultivo comercial de la palma empezó alrededor de 1940 en Costa Rica. En los capítulos respectivos se mostró la producción de palma en Costa Rica, Guatemala y Honduras, ya que El Salvador no produce oleaginosas para aceites vegetales en cantidad. En el corto plazo, la producción de biodiesel en grandes cantidades sólo puede ser hecha con el aceite de palma, pero como los precios de los aceites están relativamente altos, usar el aceite de palma para producir biodiesel puede incrementar los precios aún más por competencia entre los mercados alimenticio y energético, tornando el biodiesel sin viabilidad económica para competir con los precios del diesel local. Las exportaciones pueden ser interesantes si el mercado de la Unión Europea se abre, pues los precios del diesel en Europa son mucho mayores.

El empleo de aceites usados reciclados u otras materias primas alternativas puede ser interesante para dar inicio a la producción de biodiesel. Los pescados industrializados así como las carnicerías de ganado y cerdo pueden ser fuentes de materias grasas alternativas a los aceites vegetales si existiera la escala (logística). El ejemplo en Honduras de producción de biodiesel de aceite de pescado por una empresa que industrializa la tilápia es interesante.

Para que en el mediano o largo plazo sea posible emplear otras materias primas vegetales es necesario apoyar la producción de aceites vegetales de preferencia no comestibles. No se debe esperar producir grandes cantidades de biodiesel en corto plazo sino preparar las bases para el despegue en el futuro.

b) ¿Pequeña o gran escala de producción de biodiesel?

La cuestión escrita arriba, que siempre se pone, es asociada al objetivo de fortalecer al pequeño productor agrícola. En el caso del biodiesel, la opción de producción a pequeña escala aún no es económica. La escala de producción es muy importante para que ocurra la viabilidad de las inversiones. La producción a pequeña escala tampoco es aconsejada por varios motivos, que se explicitan a continuación:

- Es necesario que el productor de biodiesel posea entrenamiento e instrucción profesionales para el almacenamiento, manejo y transporte de las materias primas y de los productos, especialmente con el manejo de metanol que es crítico.
- La glicerina producida en pequeñas unidades no tiene como ser comercializada por problemas de logística y calidad (glicerina bruta), volviéndose su disposición un problema ambiental y además de que no se logra reducir el costo de producción del biodiesel.
- La logística para adquisición de metanol y de soda o potasa es difícil para pequeños compradores. Los precios no son los mismos que para grandes industrias y el costo de transporte para pequeñas cantidades es alto.
- La natural variación de características de la materia prima de diferentes lotes debe ser tomada en cuenta y los parámetros de operación de la planta de producción de biodiesel deben ser ajustados de forma adecuada. El pequeño productor no posee laboratorio ni conocimientos para garantizar la calidad del producto. El producto para comercialización debe atender las especificaciones técnicas. Para uso propio, las escalas son muy pequeñas.

Para apoyar a los pequeños productores agrícolas es más interesante que ellos tengan financiación para su producción y que se organicen en asociaciones o cooperativas con una única planta de producción, de forma que ellos tengan una escala que permita una gestión tecnológica y de negocio profesional.

c) ¿Hay espacio para la maquila?

Una posibilidad que puede auxiliar el desarrollo de la producción local de biodiesel en los países es hacer importaciones de aceites o grasas y producir el biodiesel para exportación como ya se hizo en la región con el bioetanol. La escala sería grande para obtener costos competitivos y sería la base para la producción local.

La existencia de un país comprador, es difícil: en los Estados Unidos el consumo de biodiesel no es grande, las empresas que lo producen tienen capacidad ociosa y los incentivos fiscales no se aplican al producto importado. En la Unión Europea, hasta el momento la producción de biodiesel tiene una característica de apoyo a los productores agrícolas locales. En el futuro, la disponibilidad de tierras puede no ser suficiente para que los países de Europa sean capaces de alcanzar las metas de sustitución de derivados de petróleo acordadas para el 2010. Ya en el de 2005 y el 2006, la Unión Europea fue importadora neta de aceites vegetales. Mecanismos de apoyo internacionales a los países en desarrollo podrían ser empleados para facilitar las exportaciones de biodiesel a los países desarrollados.

d) ¿Alimentos o energía?

Esta cuestión es importante, en especial para los países que no tienen seguridad alimenticia garantizada. Existe el riesgo de desplazar tierras que producen alimentos para la producción de materias primas para biodiesel, en particular si la penetración en la matriz ocurre en el corto plazo y con grandes incentivos. Se debe tener cuidado para que no ocurra una

concentración de propiedad de tierras o que la producción de alimentos sea desplazada a regiones más distantes de los centros de consumo haciendo los costos de alimentos básicos más elevados.

Existen críticos de los programas de producción de biocombustibles que tienen argumentos fuertes: el maíz necesario para abastecer a un vehículo con 25 galones de alcohol es suficiente para alimentar una persona por un año (Brown, 2006). Los granos necesarios para llenar el tanque cada dos semanas en un año serían suficientes para alimentar 26 personas. El autor hace una crítica a la introducción del bioetanol y del biodiesel en el mercado de combustibles, empleando granos comestibles como materia prima que puede causar un aumento en los precios de los granos y oleaginosas y volver los alimentos más caros para una gran parte de la población que hoy ya está debajo de la línea de pobreza.

Para países que son importadores netos de aceites vegetales, como es el caso de El Salvador, es más importante producir aceites comestibles que materias primas para biodiesel, a menos que estas materias primas no sean comestibles, como es el caso del higüerillo o del tempate.

e) Impactos de los precios del petróleo

Los altos precios del petróleo son favorables a la penetración de biocombustibles en la matriz energética de los países que son autosuficientes en producción de petróleo. La diversificación de fuentes de energía es importante para reducir la dependencia de importaciones, ya sea por motivos estratégicos o para ahorrar divisas en el comercio externo. Esto es particularmente importante para los países de América Central que poseen balanzas comerciales deficitarias y deudas externas elevadas, por lo que la promoción de biocombustibles en general debe estar basada en la producción local del biodiesel y de sus materias primas. La promoción del desarrollo rural es importante y debe ocurrir de forma sostenible sin impactar la seguridad alimenticia o el ambiente, es decir, sin uso masivo de irrigación, de abonos químicos o de fertilizantes agrícolas.

Con el barril de petróleo a precios actuales, existen condiciones para que el biodiesel pueda tener viabilidad económica, especialmente si alguna renuncia fiscal ocurre. Las exenciones no necesitan ser totales y pueden ser decrecientes en el tiempo para que la producción de biodiesel pueda iniciar en condiciones adversas pero ganar viabilidad en el mediano o largo plazo (*learning curve effect*). En el capítulo III se presentó cómo el precio del barril de petróleo afecta la viabilidad para el biodiesel.

Metschies (2007) presenta un costo mínimo de producción sin márgenes comerciales de US\$ 0,45 para el diesel, como estimativa de valor mediano mundial, con el precio del barril de petróleo a US\$ 60. Para el biodiesel en Brasil, US\$ 0,35 por litro, para aceite de colza puro en Alemania de US\$ 0,65 por litro, para el biodiesel en Alemania US\$ 0,90 por litro, para el biodiesel de *Jatropha* en India de US\$ 0,60 hasta US\$ 0,80 por litro, y entre US\$ 0,70 y US\$ 0,80 para el biodiesel de *Jatropha* en Tanzania. El costo de biodiesel en Brasil quizás esté subdimensionado. En consecuencia, el autor entiende que la promoción del biodiesel puede ser costosa y debe ser evaluada con cuidado, pues envuelve exenciones de tasas o subsidios que reducen la capacidad de recaudación del país.

La decisión de promover el biodiesel debe estar basada en las expectativas de costos futuros del barril de petróleo (Witze, 2007). Si la visión es de constantes precios elevados, el costo de promover el biodiesel se recuperaría en el futuro; si, por otro lado, los precios del petróleo caen a valores por debajo de US\$ 30, el biodiesel no será viable. La incertidumbre sobre la tendencia de precios del petróleo a largo plazo es una barrera a ser evaluada.

f) Obstáculos a superar para la inserción del biodiesel en Centroamérica

Con base en las observaciones anteriores, el principal obstáculo es de naturaleza económica: el biodiesel debe tener viabilidad económica con pocos incentivos. Las materias primas deben ser locales y de bajo costo, los subproductos deben tener valor para reducción de costo del biodiesel y la cadena de producción debe ser eficiente y sostenible desde el punto de vista energético y ambiental.

Para auxiliar en la viabilidad económica, se pueden emplear incentivos financieros directos. Existen dos tipos principales de incentivos financieros: la exención total o parcial de tasas y el pago al productor. En el primer caso, la atención está dirigida al uso final sin importar donde se produjo el biodiesel. El incentivo es para el consumidor y esto es ampliamente empleado en Europa. El segundo tipo está destinado al productor de biodiesel y es pagado por litro de producto. Varios estados de los Estados Unidos emplean este tipo de incentivo.

Existen aún incentivos indirectos como es el caso del programa de bioenergía del USDA que hace restituciones a los productores de biodiesel en función de sus adquisiciones de materias primas. Otro incentivo es hacer restituciones cuando el precio de las materias primas está con precios por arriba de un dado valor, formando una especie de seguro contra riesgos de precios de “*commodities*”.

Los incentivos a inversiones pueden ser a través de inversiones directas de órganos de gobierno, a través de tasas de interés menores que las usuales proporcionadas por bancos de desarrollo o por reducción de los riesgos a los empréstitos con garantías a la inversión de bancos privados.

El acceso del producto al mercado de hidrocarburos puede también ser una barrera importante. El sistema de distribución de hidrocarburos opera con los mismos productos hace años y un nuevo producto ocasiona problemas de logística o costos adicionales. Por otro lado, los productores de biodiesel no tienen cómo hacer llegar hasta los consumidores su producto dado que no tienen una cadena de distribución ya establecida. Cuando esta barrera es importante, las leyes de hidrocarburos pueden ser modificadas para uso obligatorio. Por ejemplo, determinar un porcentaje definido de biodiesel en el diesel o requerir especificaciones tales que el diesel sin aditivos no pueda atender para que el biodiesel entonces sea usado como aditivo para mejorar el diesel.

Las materias primas más interesantes para el biodiesel en la región Centroamericana son la palma y el piñón. Para el caso de la palma, el costo de oportunidad de exportación del aceite crudo o refinado puede reducir la viabilidad de producción de biodiesel, en especial en situaciones como las de hoy en que el precio internacional del aceite está elevado. Por otro lado, la *Jatropha* (piñón o tempate) aún no tiene un manejo agrícola desarrollado y el valor de la torta aún debe ser verificado.

Otro obstáculo importante es la credibilidad del nuevo producto. La calidad debe ser siempre mantenida para no causar daño a los vehículos y poner a los consumidores en contra del producto.

La oportunidad para inserción del biodiesel tiene aún obstáculos de naturaleza política: el ambiente debe ser transparente, con regulación clara y estable; la tributación del producto debe ser definida de forma explícita, tenga o no exenciones fiscales; en caso de exenciones, los plazos de validez deben ser claros y las políticas agrícolas deben tener en cuenta mecanismos de crédito, apoyo a inversiones y asistencia técnica. Las políticas gubernamentales ejercen fuerte influencia en el clima de inversiones porque tienen impactos inmediatos sobre los costos, riesgos y barreras a competencia.

Con las definiciones de naturaleza política explicadas, la barrera de capacidad de inversión puede apoyarse en empréstitos de instituciones internacionales de incentivo a “industrias verdes” y de proyectos de desarrollo sostenible.

La inserción del biodiesel en las matrices energéticas de los países puede ofrecer ventajas sociales importantes, como la creación de empleos y fijación de poblaciones en el campo para la producción de las materias primas, destinación adecuada a tierras ociosas o degradadas y aumento de la renta de los pequeños agricultores. La conducción cuidadosa y armónica de las etapas agrícola, industrial y comercial, es una definición difícil y que demanda una buena coordinación.

4. Conclusión

El estímulo a la producción de oleaginosas es una condición esencial para el éxito de un programa de biodiesel. Para que las materias primas estén disponibles a costos bajos, el que requiere productividades elevadas, y en cantidades adecuadas a la capacidad del programa.

En todos los países visitados los “pasos iniciales” para la inserción del biodiesel ya fueron dados: identificación de las materias primas más adecuadas, evaluación de las características de calidad y cantidad de tierras necesarias; plantas piloto en operación para “pruebas de concepto”, pruebas en flotas cautivas para evaluación de la calidad del producto y sus efectos sobre el desempeño de la flota actual, y creación de comisiones de alto nivel integrando diferentes áreas de gobierno para conducir el planeamiento de todas las etapas de la producción (agrícola, industrial, distribución, definición de tasas, etc.).

Es evidente que el biodiesel necesita de algún tipo de beneficio fiscal o de subsidio económico, por lo menos en su etapa inicial de implementación. Esto es lo que ocurrió en todos los países que ya empezaron a producir este producto en gran escala. El tamaño y duración de tales beneficios deben ser discutidos y definidos así como quienes serán los beneficiarios y en qué medida se distribuirán los incentivos entre los productores de biodiesel, productores de aceites o productores de materias primas oleaginosas. Cada caso debe ser evaluado de acuerdo con sus especificidades y mecanismos de acompañamiento y la evaluación constante deben ser parte de la política energética definida para el biodiesel.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, F.R.; Lima, D.G.; Hamú, E.H.; Wolf, C.; Suarez, P.A.Z. (2004) “Utilization of Metal Complexes as Catalysts in the Transesterification of Brazilian Vegetable Oils with Different Alcohols”, *Journal of Molecular Catalysis A*, Chemical, United States, v. 209, p. 29-33.
- AFI (2007), “Biodiesel and ethanol prices”, *Alternative Fuels Index V.5*, Issue 10, March 8.
- Albuquerque, G.A.; Conceição, M.M.; Santos, I.M.G.; Fernández Jr., V.J.; Souza, A.G. (2006), “Avaliação reológica e caracterização físico-química do biodiesel de canola e misturas”, *Anais do I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel*, p.175-180, Brasília, 31/08 a 01/09, 2006.
- Allen, C.A.; Watts, K.C. (2000), “Comparative analysis of the atomization characteristics of fifteen biodiesel fuel types”, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, V. 43, n.2, p: 207-211.
- Arias M.O. (2005), “Retos para la agricultura en Costa Rica”, *Agronomia Costarricense*, V.29, n.2, Julio-Diciembre, p.157-166.
- Asturias P.R. (2006), “Jatropha curcas: su expansión agrícola para la producción de aceites vegetales con fines de comercialización energética”, *Documento Octagón*, Guatemala, marzo.
- Asturias P.R. (2006), “Biodiesel en Guatemala”, Presentación en el VII Forum Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED, Buenos Aires, Argentina, 4 y 5 diciembre.
- Aziz, A.A.; Said, M.F.; Awang, M.A. (2005), “Performance of palm oil-based biodiesel fuels in a single cylinder direct injection engine”, *Palm Oil Developments*, V.42, p.15-27. Malaysia.
- Bacon, R. & Kojima, M. (2006), “Coping with higher oil prices”, World Bank’s Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP) *Report 323/06*, Washigton, USA, August.
- Banco de Guatemala (2006), “Estadísticas de producción, exportación, importación y precios medios de los principales productos agrícolas”, Departamento de Estadísticas Económicas, Sección de Cuentas Nacionales, Guatemala, marzo.
- Barrantes, E. (2007), “CANAPALMA – Enlace Técnico”, Presentación para este consultor, Costa Rica, 12 de febrero.
- Beare-Rogers, J.; Dieffenbacher, A.; Holm, J.V. (2001), “Lexicon of Lipid Nutrition”, *IUPAC Technical Report*, Pure and Applied Chemistry, v.73, n.4, pp.685-744.

- Bender, M. (1999), “Economic Feasibility Review for Community-Scale Farmer Cooperatives for Biodiesel”, *Bioresources Technology*, Elsevier, V.70, p.81-87.
- BioDiesel Technologies GmbH (2007), “CPU 1000 Compact Production Unit – biodiesel production machine”, *Product brochure*.
- Biswas, S.; Kaushik, N.; Srikanth, G. (2005), “Biodiesel: Technology & Business Opportunities –An insight”, *Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC) Report*, Dep. of Science & Technology, New Delhi, India.
- Booth, E.; Booth, J.; Cook, P.; Ferguson, B.; Walker, K. (2005), “Economic evaluation of biodiesel production from oilseed rape grown in north and east Scotland”, *Report from SAC Consultancy Division*, UK, October.
- Bosch, R. (2004), “Biodiesel – U.S. Overview”, *Presentation*, 28 September.
- Briggs, M.S.; Pearson, J.; Farag, I.H. (2005), “Incorporating lessons on biodiesel into the science classroom”, *Presentation*, U. New Hampshire, March 22.
- Brown, L.R. (2006), “Supermarkets and service stations now competing for grain”, *Earth Policy Institute news*, July 17.
- Cameron, C. (2005), “Ecological drivers in the transportation sector: implication on the refining industry”, en 6th European Fuels Conference, Paris, France, 14-16 March.
- Candeia, R.A.; Freitas, J.C.O.; Conceição, M.M.; Silva, F.C.; Santos, I.M.; Souza, A.G. (2006), “Análise comparativa do biodiesel derivado do óleo de soja obtido com diferentes álcoois”, *Anais do I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel*, p.175-180, Brasília, 31/08 a 01/09.
- Carmona S.A. (2007), *Comunicación personal de la Empresa Palma Tica*, Costa Rica, 13 de febrero.
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA/ESALQ/USP e Polo Nacional de Biocombustíveis (2005), “Biodiesel: análise de custos e de tributos nas cinco regiões do Brasil”, *Informe*, Piracicaba, Brasil, outubro.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2006), *Istmo Centroamericano: estadísticas de hidrocarburos, 2005*, (LC/MEX/L738, 15 de agosto de 2006).
- CNPE (Conselho Nacional de Política Energética) (2005), “Reduz o prazo de que trata o § 1º do art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, e dá outras providências”, *Resolução CNPE 003 de 23 de setembro de 2005*, Diário Oficial da União, seção 1, p.20, v.142, n.187, 28/09/2005.
- Conley, S.P. & Tao, B. (2006) “Biodiesel quality: is all biodiesel created equal?”, *Bio Energy*, ID-338, Purdue University, December.

- Crown Iron Works Co (2007), “Biodiesel”, *Product brochure*, 2007.
- Cruz, A.C.W. (2006), *Costa Rica: experiencia en la utilización de biocombustibles*. Presentación en el Seminario Internacional de Biocombustibles Central Biofuels, organizado por el Ministerio de Minas e Energía de Brasil y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Brasilia, Brasil, abril.
- Cruz, A.C.W., Miranda L.S.; Vega C.O. (2006), *Primer Informe Técnico: perspectivas de la producción y uso del biodiesel*, Presentación en el Seminario Internacional de Biocombustibles, organizado por el Ministerio de Minas e Energía do Brasil y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Brasil, abril.
- Decreto-Ley n.68-86 (1986), “Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente”, Guatemala, 5 de diciembre.
- Decreto n.109/97 (1997), “Ley de comercialización de hidrocarburos”, Congreso de la Republica de Guatemala, Guatemala, 26 de noviembre.
- Decreto n.52-2003 (2003), “Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable”, Congreso de la Republica de Guatemala, Guatemala, 10 de noviembre.
- Decreto n.104-93 (1993), “Ley General del Ambiente”, Congreso de la Republica de Honduras, Tegucigalpa, *La Gaceta*, 30 de junio.
- Decreto n.2-07 (2007), “Establecer el sistema de precios de paridad de importación”, Consejo de Ministros de Honduras, Tegucigalpa, *La Gaceta*, 20 de enero.
- Decreto n.3-07 “Declara situación de emergencia en el almacenamiento de derivados de petróleo”. Consejo de Ministros de Honduras, Tegucigalpa, *La Gaceta*, 20 de enero de 2007.
- Decreto n.169 (1970), “Ley reguladora del depósito, transporte y distribución de productos de petróleo y su reforma”, Asamblea Legislativa, El Salvador, *Diario Oficial* n.235, Tomo 229, 23/12/1970.
- Decreto n.233 (1998), “Ley del Medio Ambiente”, Asamblea Legislativa, El Salvador, *Diario Oficial* n.79, Tomo 339, 04/05/1998.
- Decreto n.26443-MEIC (1997), “RTCR 249: 1997. Productos del petróleo. Aceite combustible diesel”, Costa Rica, *La Gaceta* n.218, 12 de noviembre.
- Decreto n.28280 – MOPT – MINAE – S (1999), “Reglamento para el Control y Revisión Técnica de las Emisiones de Gases Contaminantes Producidas por Vehículos Automotores, Costa Rica, *La Gaceta* n.236, de 6 de diciembre.

- Decreto n.30131 – MINAE – M.Saude (2002), “Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos”, Costa Rica, *La Gaceta*, 01de febrero.
- Decreto n.30221-M. Saude (2002), “Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosfericos”, Costa Rica, *La Gaceta* de 21de marzo.
- Decreto n.31818 – MAG-MINAE (2004), “Crea la Comisión Técnica de Trabajo del Estudio del Biodiesel”, Costa Rica, **La Gaceta** n.112, 9 de junio.
- Elsbett, G. & Bialkowsky, M. (2003), “Engines running on pure vegetable oil as regrowing fuel. History, Development, Experiences, Chances”, Presentation for Shanghai Internacional Symposium on Internal Combustión Engine.
- EBB (European Biodiesel Board) (2006), “EU biodiesel production growth hits records high in 2005”, *Press Release* 164/COM/06, 25 April.
- EPA (Environment Protection Agency) (2002), “A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions”, *United States Environmental Protection Agency Report EPA-420-P-02-001*, October.
- European Commission (2006), “Agricultural commodity markets: past developments and outlook”, Directorate-General for Agriculture and Rural Development, G5, *Agricultural trade policy analyses, Report*, February.
- European Parliament (2003a), “On the promotion and use of biofuels or other renewable fuels for transport”, Directive 2003/30/EC, *Official Journal of the European Union*, L.123, p.42-46, 17 may.
- _____ (2003b), “Restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity”. Directive 2003/96/EC, *Official Journal of the European Union*, L.283, p.51-70, 31 October.
- Ferrari, R.A.; Oliveira, V.S.; Scabio, A. (2005), “Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia”, *Química Nova*, v.28, n.1, São Paulo, Brasil, Jan-Fev.
- Frame, E.A. (2000), “Evaluation of biodiesel samples as fuel-lubricity enhancers”, *Letter Report TFLRF n. 99/008*, Southwest Research Institute (SwRI), San Antonio, USA, May.
- Foon, C.S.; May, C.Y.; Liang, Y.C.; Ngan, M.A.; Basaron, Y. (2005), “Palm biodiesel: gearing toward Malaysian biodiesel standards”, *Malaysian Palm Oil Board, Palm Oil Developments*, n.42, p.28-34.
- Fortenbery, T.R. (2005), “Biodiesel feasibility study: an evaluation of biodiesel feasibility in Wisconsin”, *Staff Paper n.481*, University of Wisconsin-Madison, USA, March.

- Gaio, T. (2006), "Biodiesel state-of-the-art and innovation: relevant national legislation". Oilprodiesel Project, *sub-task 2.2 Final Report*, European Union, Life05 ENV/P/ 000369, 07 April.
- Gärtner, S.O.; Reinhardt, G.A. (2005), "Biodiesel initiatives in Germany", *Final Report of the Institute for Energy and Environmental Research EU Project PREMIA*, Contract TREN/04/FP6EN/S07.31083/503081, Final Report, Heidelberg, Germany, May.
- Glueck, M; Kashyap, D. (Coordinators) (2005), "Liquid biofuels for transportation: India country study on potential and implications for sustainable agriculture and energy", *Report from TERI (The Energy Resources Insitute) and GTZ (German Technical Cooperation) Project*. New Delhi, India, December.
- Hayem M., E; Cruz, J. (2006), "Impactos económicos, ambientales y sociales del cultivo del tempate (*Jatropha curcas*)". Publicación del Ministerio de Agricultura y Ganadería, julio.
- Heller, J. (1996), "Physic nut – *Jatropha curcas*", Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), and International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), publication ISBN 92-9043-278-0, Rome.
- Hilber, T.; Ahn, E.; Mittelbach, M.; Schmitd, E. (2005), "Animal fats perform well in biodiesel", *The Render Magazine*, p.16-18, February.
- Holanda, A. (organizador) (2004), "Biodiesel e inclusão social", *Cadernos de Altos Estudos n.1*, Câmara dos Deputados, Brasilia, Brasil.
- Idaho, University of (2005), "NOx emission and biodiesel", *Tech.Notes Newsletter*, University of Idaho, USA, June 27.
- IFQC (International Fuel Quality Center) (2003), "Australia: biodiesel determination signed", *Flash Report*, September 22.
- Jensen, P. (2003), "Unmodified vegetable oil as an automotive fuel", Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), *Report*, issue 74, May.
- Kaltner, F.J.; Azevedo, G.F.P.; Campos, I.A.; Mundim, A.O.F. (2005), "Liquid biofuels for transportation in Brazil", *Report from Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) and GTZ (German Technical Cooperation) contract N. 063RS-05*. Rio de Janeiro, November 28.
- Knothe, G. (2001), "Historical perspectives on vegetable oil-based diesel fuels", *Industrial Oils*, V.12, p.1103-1107. November.
- Knothe, G.; Dunn, R.O.; Bagby, M.O. (1997) "Biodiesel: the use of vegetal oils and their derivatives as alternative diesel fuels", *Fuels and Chemicals from Biomass, American Chemical Society Series n.666*, Washington, USA, American Chemical Society, p.172-208.

- La Nación (2006), “Transporte público de Costa Rica utilizará biodiesel”, Edición de 01 de septiembre de 2006.
- Lima, P.C.R. (2004), “O biodiesel e a inclusão social”, Estudo, Consultoria Legislativa, Câmara dos Deputados, Brasília, Brasil, março de 2004.
- Lovatelli, C. (2006), “Biodiesel in Brazil – the newest developments”, Presentation in the German-Brazilian Initiative for Cooperation in Agribusiness, Germany, July 09.
- _____ (2001), “Situação do Biodiesel no mundo”, Anais do Seminário Biodiesel, promovido pela Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), São Paulo, 04 de dezembro.
- Lurgi, AG. (2007), “Biodiesel”, *Product brochure*.
- Ma, F. & Hanna, M.A. (1999), “Biodiesel production: a review”, *Bioresource Technology*, Published by Elsevier Science, v.70, pp-1-15.
- Macedo, I.C. & Nogueira, L.A.H. (2005), “Avaliação do biodiesel no Brasil”, Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) da Presidência da República, *Cadernos NAE*, n2, “Biocombustíveis – Seção 1”, Brasília, Brasil.
- Madriz G.E. (2007), Comunicación personal, Empresa Energías Renovables, Costa Rica, 12 de febrero.
- MAG/SEPSA (Ministerio de Agricultura y Ganadería); *Boletín Estadístico Agropecuario n.16*, Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, ISSN 1659–1232, San José, Costa Rica.
- MAG/DGEA (Ministerio de Agricultura y Ganadería) (2005), *Estadísticas de Comercio Exterior de Productos Agropecuarios*, Dirección General de Economía Agropecuaria, Santa Tecla, El Salvador, noviembre.
- Maneely, T. (2006), “Glycerin: production and utilization”, University of Idaho, Biodiesel One-Day Course, USA, June 15.
- Marroquín R., M.C. (2005), *Determinación de la factibilidad económica del diseño preliminar de una planta productora de biocombustible a partir del aceite de tempate en El Salvador*, Informe de la Compañía Azucarera Salvadoreña, Izalco, El Salvador.
- Matthis, D. (2003), *Producing biodiesel: a simple affair? A practical guide to read before building your plant*, Edited by ASA Europe, Ghent, Belgium, November.
- MEM (Ministerio de Energía y Minas) (2005a), “Reglamento de la Ley da Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable”, Acuerdo Gubernativo n.AG-211, Guatemala, 22 de junio.

- _____ (2005b) “Nómina de productos petroleros con sus respectivas denominaciones, características y especificaciones de calidad”, Acuerdo Gubernativo n.AG-170, Ministerio de Minas y Energía, Guatemala, 30 de noviembre.
- _____ (1999), “Reglamento de la ley de comercialización de hidrocarburos”, Acuerdo Gubernativo n.AG-522-99, Ministerio de Energía y Minas, Guatemala, 14 de julio.
- MEM; “Reglamento de la Ley da Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renewable”. Acuerdo Gubernativo n.AG-211, Ministerio de Minas y Energía, Guatemala, 22 de junio de 2005
- MEM; “Nomina de productos petroleros con sus respectivas denominaciones, características y especificaciones de calidad”. Acuerdo Gubernativo n.AG-170, Ministerio de Minas y Energía, Guatemala, 30 de noviembre de 2005.
- Mensier, P.H.; “L’Emploi des huiles végétales comme combustible dans les moteurs”. *Oleagineux*, v.7, n.2, p.9-13, fév.1952.
- Methanol Institute; IFQC; “A biodiesel primer: market & public policy developments, quality, standards and handling”. Metanol Institute and Internacional Fuel Quality Center report. April, 2006.
- Metschies, G.P. "International Fuel Prices 2007". 5th Edition. GTZ Publication, Eschborn, Germany, March 2007.
- MIC; “Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais.” Ministerio de Indústria e Comercio, Secretaria de Tecnologia Industrial, Brasilia, 1985.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL); “Life cycle inventory of biodiesel and petroleum Diesel – Urban bus operation. Report NREL/SR-580-24089, 2001.
- Nigro, F.E.B.; “Biodiesel – a experiencia brasileira: tecnologia e impacto ambiental”, Anais do Seminário Biodiesel, promovido pela Associação Brasileira de Engenharia Automotiva – AEA, São Paulo, 04 de dezembro 2001.
- OLADE/SIEE; “Energía en cifras”. Sistema de Información Económica – Energética. Organización Latino Americana de Energía. Quito, Octubre 2004.
- PCRA; “Biodiesel”. Presentation of the Petroleum Conservation Research Association – PCRA. New Delhi, India, 2004.
- Pinto, R.R.C.; Fachetti, A.M.; Perin, C.; “Caracterização do Biodiesel para Uso Automotivo”. Anais do Seminário Biodiesel, promovido pela Associação Brasileira de Engenharia Automotiva – AEA, São Paulo, 04 de dezembro 2001.

- Pinto, A.C.; Guarieiro, L.L.N.; Rezende, M.J.C.; Ribeiro, N.M.; Torres, E.A.; Lopes, W.A., Pereira, P.A.P.; Andrade, J.B.; "Biodiesel: an Overview". J. Bras.Chem.Soc., ISSN 0103-5053, October, 6, 2005.
- Reca, A.; "The Latin American oils and fats outlook". Presentation of Rabobank at the 4th. Global Oils and Fats Business Forum, San Diego, USA, September 9, 2005.
- Ribeiro, E.B.; Quirino, R.L.; Rodrigues, J.P., Lavich, R.R.; Iha, O.K.; Aguiar, G.H.M.; Tavares, A.P.; Lima, D.G.; Santos, A.L.F., Ribeiro, R.A.M.; Soares, V.C.; Cardoso, E.C.V; Rassi, F.C.; Peres, A.C. Carvalho, D.A. Santos, A.C.S.F.; Rubin, J.C.; Suarez, P.A.Z. "Contribuições do LMC-UnB para a pesquisa em biocombustíveis: Desenvolvimento de processos termo-catalíticos para o craqueamento de óleos e gorduras". Anais do I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, p.252-256, Brasília, 31/08 a 01/09, 2006.
- RK-Qualitätsstandard; "Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel". LTV-Arbeitskreis Dezentrale Pflanzenölgewinnung, Weihenstephan, Germany, 2000.
- S&T2 Consultants; Myers Norris Penny LLP "Economic, financial, social analysis and public policies for biodiesel – Phase 1". Report prepared to the Natural Resources Canada, November 22, 2004.
- Saville, B.A.; "Feasibility study for a biodiesel refining facility in the regional municipality of Durham". Report of the BBI Biofuels of Canada to the Regional Municipality of Durham, Canada, February 2006.
- Schuchardt, U.; Sercheli, R.; Vargas, R.M.; "Transesterification of vegetable oils: a review". Journal of Brazilian Chemical Society, v.9, n.1, 1998.
- Sheehan, J.; Camobreco, V.; Duffield, J.; Graboski, M.; Shapouri, H. "An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles". National Renewable Energy Laboratory. Final Report prepared under Task n. BF886002 for DOE and USDA, may, 1998.
- SIC; Acuerdo n.24-04 – "Establece el sistema de precios de paridad de importación". Honduras, 22 de octubre de 2004.
- Soares, V. C. D.; Lima, D. G. De; Ribeiro, E. B; Carvalho, D. A.; Cardoso, E. C. V.; Rassi, F. C.; Mundim, K. C.; Rubim, J. C.; Suarez, P. A. Z."Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable Oils". Journal of Analytical And Applied Pyrolysis, v. 71, n. 2, p. 987-996, 2004.
- Steenblik, R. "Liberalisation of trade in renewable energy and associated technologies: biodiesel, solar thermal and geothermal energy". OECD Publication COM/ENV/TD(2005)78/FINAL. Working Paper n.2006-01, Paris, France, april 4, 2006.
- Szpitz, R.R.; Jablonka, F.H.; Pereira, D.A.; Hartman, L.; Boletim de Pesquisa n.008, Centro de Tecnologia Alimentar, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 1984.

- Thoenes, P. "Biofuels and commodity markets – palm oil focus". FAO Commodities and Trade Division Paper, October, 2006.
- Thrän, D.; Weber, M., Muller-Langer, F., Schröder, G.; Probst, O.; "Estudio de factibilidad GTZ-BID sobre el biodiesel como combustible para el transporte en México". Resumen Ejecutivo, Ciudad de México, 23 de noviembre de 2006.
- UFOP; "Biodiesel and other biofuels". Abridged version of the UFOP Report 2005/ 2006. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP). Berlin, October 2006.
- US Department of Energy; "Biodiesel: handling and use guidelines". Report DOE/GO – 102006-2358, Third Edition, September 2006.
- Van Gerpen, J.H. "Quality characteristics of brassica-based biodiesel". U.S Canola Research Conference – presentation, November 14, 2006.
- Van Gerpen, J.H.; Shanks, B.; Pruszko, R.; Clements, D.; Knothe, G.; "Biodiesel analytical methods". National Renewable Energy Laboratory (NREL) Report NREL/SR-510-36240, July, 2004.
- Van Gerpen, J.H.; "Cetane number testing of biodiesel". Proc. of the Third Liquid Fuel Conference: Liquid fuels and industrial products from renewable sources. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, p.197-206, 1996.
- Vega C., O.; "Biodiesel: una alternativa para el desarrollo de Costa Rica". Presentación de la Comisión Técnica de Trabajo para el Estudio del Biodiesel, febrero de 2005.
- Vega C., O.; "Valoración de alternativas para la producción de biodiesel". Presentación para este consultor. Costa Rica, 12 de febrero de 2007.
- Von Lampe, M.; "Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels". OCDE Report AGR/CA/APM(2005)24/FINAL, 01/02/2006.
- Von Lampe, M.; "Supportive study for the OECD on alternative developments in biodiesel production across the world". OECD Report AGR/CA/APM(2005)21, 04 November 2005.
- Von Wedel, R.; "Biodiesel strategies for Latin America & earth – a decade of experience in California". Presentation at U.N. World Environmental Day. San Francisco, June 3, 2005.
- Witze, A. "That's oil, folks...". Nature, Vol 445, n.4, January 2007.
- Woods, J.; Bauen, A; "Technology status review and carbon abatement potential of renewable transport fuels in UK". Department of Trade and Industry (DTI) Report B/U2/00785/REP, 2003.
- Wright, L.; Boundy, B.; Perlack, B.; Davis, S.; Saulsbury, B.; " Biomass Energy Data Book: Edition 1". US DOE, Energy Efficiency and Renewable Energy. Report ORNL/TM-2006/571, Oak Ridge, USA, September 2006.

Zhenhong, Y.; “Bio-fuels industry in China: utilization of ethanol and biodiesel in today and future”. China Biomass Development Center presentation, 2005.

Sítios de Internet

Addison, K.; “The SVO problem (Straight Vegetable Oil)”. Consulta en 17 octubre 2005. http://journeytoforever.org/biodiesel_svo.html

Allen, M.; “Streighter-then-straight vegetable oils as diesel fuels”. Consulta en 17 octubre 2005. http://journeytoforever.org/biodiesel_SVO-Allen.html

Asociación de Generadores con Energía Renovable (AGER). “Objetivos de la AGER”. Consulta en 22 de noviembre de 2006. www.ager.org.gt

Australian government; “Fuel Standards (Biodiesel) Determination”. www.law.gov.au/portal/govgazonline.nsf

Biodiesel Industries; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.pipeline.to/biodiesel

BioDiesel International – BDI; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.bdi-biodiesel.com

BioDiesel Technologies GmbH; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.biodieseltechnologies.com

Castor oil as biodiesel & biofuel. Consulta em 12 de mayo de 2006. www.castoroil.in/fuel/castor_oil_fuel.html

Crown Iron Works Co.; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.crowniron.com/technologies/biodiesel_parent.cfm

Dedini S.A.; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.dedini.com.br/biodiesel.html

Desmet Ballestra; Homepage for biodiesel equipment. Consulta en 08 de enero de 2007. www.desmetballestraoleo.com

Energía; Homepage for biodiesel equipment. Consulta en 08 de enero de 2007. www.energea.at

Fedepalma; Homepage de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite – Colombia. Consulta en 20/03/2007. www.fedepalma.org

Flowtech Systems; Homepage for biodiesel equipment and costs. Consulta en 08 de enero de 2007. www.flowtechsystems.com.br/cotacoes.php

GHP-Biodiesel; “CPU Compact Production Unit”, “Vacuum Oil Purification Unit with Free Fat Acids Distillation”, “Glycerin-Phase Unit”, “Products Price List”. Páginas del fabricante de equipos para producción de biodiesel. Consulta en 01 de agosto de 2003. www.ghpbiodiesel.de

ICIS pricing; “Sample Report: Glycerine prices in Asia, Europe and United States – 07/06/2006”. Consulta en 11/12/2006. www.icispricing.com

IWR - Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien; “Biodiesel produktionskapazitäten in Deutschland”. Consulta en 18 de enero de 2007. www.iwr.de/biodiesel/kapazitaeten.html.

JatroDiesel; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.jatrodiesel.com/pages

Lurgi AG; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.lurgi.com

Maziero, J.V.G.; Correa, I.M.; “Uso de óleo bruto de girassol em motor diesel”. Consultado em 25 febrero 2006. www.iapar.br/biodiesel/oleobruto.pdf

Methanex; Homepage. Histórico de precios: http://www.methanex.com/products/documents/MxAvgPrice_Feb262007.pdf

NBB – National Biodiesel Board – USA “Commercial biodiesel production plants – map and listing”. Consulta en 15 diciembre 2006. at http://www.nbb.org/pdf_files/fuelfactsheets/ProducersMap-ExistingUSA.pdf

Neste Oil; “Neste Oil to build second NExBTL plant at Porvoo”. 30/11/2006. http://www.greencarcongress.com/2006/11/neste_oil_to_bu.html#more

NextGen Fuel; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.nextgenfuel.com

NovaEnergy; Homepage for biodiesel equipment. Consulta em 08 de enero de 2007. www.novaenergyholding.com

Oxford University; “Safety (SMDS) data for metil alcohol (metanol)”. Consulta en 25 de septiembre, 2006. http://ptcl.chem.ox.ac.uk/MSDS/ME/methyl_alcohol.html

Palmoil; Market report (week 16, 2006) from Wawasan Tebrau. [www.palmoil.com /index.php?](http://www.palmoil.com/index.php?)

Parente, E. J.; Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Disponível em: <http://www.tecbio.com.br/downloads/livro%20Biodiesel.pdf>. Consulta em: 05 Julio 2005.

Parente, E.J.; “Aspectos economicos da produção de biodiesel”. Consulta em 05 julio 2005. <http://orion.nutec.ce.gov.br/biodiesel/economicobiodiesel.htm>

PCRA – Petroleum Conservation Research Association, India – “National Biodiesel center” – Consulta en 16 de enero de 2007. <http://www.pcra-biofuels.org>

Renewable-energy-group; Homepage for biodiesel equipment. Consulta en 08 de enero de 2007. www.renewable-energy-group.com

Rohm & Haas; Homepage for biodiesel equipment. Consulta en 08 de enero de 2007. www.rohmhass.com/ionexchange/IP/biodiesel_purification.htm

Savoia Power; Homepage for biodiesel equipment. Consulta en 08 de enero de 2007. www.savoiapower.com/biodiesel.html

SICA – Sistema de Integración Centroamericana; “SICA promueve la producción de biodiesel en Centroamérica”. Comunicado de Prensa 005/06. San Salvador, 07/02/2006. Consultado en 14/12/2006. www.sgsica.org/energia.

Superior Technology; Homepage for biodiesel equipment. Consulta en 08 de enero de 2007. www.superiorprocesstech.com

World Wide Fuel Chart 4 (2006), Four different categories of fuel quality, pp.1, 9, 10, 11 y 12. www.autoalliance.org/archives/wwfcbrochure.pdf

A N E X O S

ANEXO I

CUESTIONARIO PRELIMINAR: DATOS E INFORMACIÓN

Este cuestionario tiene por objetivo orientar la colecta de datos e información básica para cada uno de los países a ser visitados. Sería importante que la información estuviera disponible para facilitar las entrevistas previstas.

Aspectos cuantitativos y cualitativos acerca de las condiciones para la introducción del biodiesel en la matriz energética:

1. Producción y precios de materias primas y aceites vegetales

- a) Producción de materias primas, por tipo (soya, maíz, algodón, palma, etc.) e insumos posibles para biodiesel, aunque no sean usadas para producir aceites vegetales de los últimos tres años.
- b) Producción local de aceites vegetales, por tipo (soya, maíz, palma, etc.) de los últimos tres años.
- c) Producción local de residuos biomásicos, grasas de origen animal o producción de cuero de los últimos tres años.
- d) Área de tierras destinadas al cultivo de las materias primas del punto a) por tipo de los últimos tres años.
- e) Disponibilidad de tierras para cultivar variedades oleaginosas – punto de vista de área y de condiciones climáticas y de características de suelo.
- f) Precios de los productos agrícolas del punto a) y b) – precios locales o de exportaciones, cuando sea el caso.
- g) Importaciones y exportaciones de aceites vegetales – volúmenes y precios – últimos tres años.

2. Infraestructura industrial para producción de biodiesel

- a) Instalaciones de producción de aceites vegetales – donde se localizan, capacidad de producción instalada, uso real de la capacidad (producción efectiva) – últimos tres años.
- b) Instalaciones de producción de biodiesel: se existentes, donde se localizan, cual su capacidad de producción instalada y su producción actual.

3. Relación de Asociaciones y entes gubernamentales que se dedican al tema del uso de biodiesel en el país

- a) Asociaciones de productores de aceites vegetales o biodiesel.
- b) Entes gubernamentales involucrados en la cuestión.
- c) Otras asociaciones – académicas, ambientales, económicas, etc.

4. Precios de combustibles derivados de petróleo

- a) Precios del diesel derivado de petróleo –nivel del productor o importador y en el nivel del consumidor– últimos tres años.
- b) Precios de la gasolina, aceite combustible y gas licuado de petróleo – nivel de productor o importador – últimos tres años.

5. Mercado de combustibles

- a) volumen comercializado – gasolina y diesel – últimos tres años.
- b) tributos en el diesel y en la gasolina – valores.
- c) ¿existen subsidios o tributos diferenciados para el diesel? ¿Usos agrícola o marítimo, por ejemplo?
- d) Cual es la dimensión de la flota de vehículos leves y pesados. Edad mediana de la flota. Distribución por combustible: gasolina o diesel.
- e) Volumen de importación anual de vehículos. País de origine de los coches.

6. Especificaciones técnicas de los combustibles

- a) para el diesel.
- b) para el biodiesel B100 – caso exista.

7. Legislación y regulaciones pertinentes al mercado de combustibles

- a) Leyes y reglamentos do mercado de diesel o hidrocarburos en general.
- b) Leyes de importación y exportación de aceites vegetales y de diesel.
- c) Acuerdos internacionales de interés – centroamericanos o generales.
- d) Leyes de incentivo a biocombustibles, se existentes.
- e) Leyes de protección ambiental – foco en la calidad del aire.
- f) Leyes de incentivo a las actividades agrícolas.

ANEXO II

INFORME DE LA MISIÓN EN CENTROAMÉRICA

Consultor: Waldyr Luiz Ribeiro Gallo

Contrato CEPAL: 9908 / 2007

1. Introducción

Este Informe tiene como propósito describir el viaje efectuado como parte del desarrollo del trabajo referente al Contrato referenciado arriba. Son enumeradas las reuniones realizadas, con sus fechas, personas presentes, instituciones representadas y un resumen de los principales temas tratados.

2. Plan de viaje

El plan de viaje fue presentado por la sede subregional de la CEPAL en México y está descrito abajo:

Domingo, 11 febrero:

Embarco:	5:52h Rio de Janeiro (hora local)	Vuelo CM872
Llegada:	9:53h Panamá City (conexión)	
Embarco:	11:00 Panamá City (hora local)	Vuelo CM824
Llegada:	11:17 h en San José (hora local)	

Lunes y Martes, 12 y 13 Febrero

Citas de trabajo en Costa Rica

Miércoles, 14 Febrero:

Embarque:	10:43 h de San José da Costa Rica	Vuelo CM116
Llegada:	13:23 h en ciudad Guatemala	
Citas de trabajo en Guatemala		

Jueves, 15 Febrero:

Citas de trabajo en Guatemala

Viernes, 16 Febrero:

Embarco:	07:10 h de ciudad Guatemala	Vuelo TA963
Llegada:	08:00 h en Aeropuerto Internacional de El Salvador	
Llegada:	09:30 h en San Salvador	
Citas de trabajo en El Salvador		

Sábado y Domingo, 17 y 18 de Febrero:

En Hotel

Lunes, 19 Febrero:

Citas de trabajo en El Salvador

Martes, 20 febrero:

Embarco: 08:45 h de El Salvador

Vuelo TA390

Llegada: 09:30 h en Tegucigalpa (Honduras)

Citas de trabajo en Honduras

Miércoles a Viernes, 21 a 23 de febrero:

Citas de trabajo en Honduras

Sábado, 24 febrero:

Embarco: 14:04 h de Tegucigalpa (hora local)

Vuelo CM825

Llegada: 18:00 h en ciudad Panamá (hora local)

Embarco: 19:11 h de ciudad Panamá (hora local)

Vuelo CM873

Domingo, 25 febrero:

Llegada: 05:15 h en Rio de Janeiro (hora local de Brasil)

3. Descripción de las reuniones realizadas

Costa Rica: Agenda armada por Ing. Gloria Villa, de la Dirección Sectorial de Energía

Lunes 12 de febrero:

8:30h hasta 10:00 h: Reunión en la DSE con Ministerio de Agricultura y Ganadería

Presencias:

Orlando Vega – MAG

Giovanni Castillo Pacheco – DSE – Subdirector

Emileth Barrantes – CAPALMA

Waldir L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Presentación (ppt) del señor Orlando Vega sobre palma africana y biodiesel. La visión del MAG.

Discusión sobre posibles materias primas alternativas

Discusión sobre disponibilidad de tierras para nuevas siembras

El problema del cambio de siembras: de alimentos para energía

10:00h hasta 12:10h: Reunión en la DSE con el representante de CAPALMA

Presencias:

Giovanni Castillo Pacheco – DSE – Subdirector

Emileth Barrantes – CAPALMA

Waldir L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Presentación (ppt) del señor Emileth Barrantes: Comisión de Biocombustibles – visión de la industria.

Evaluación del Plan Nacional de Biocombustibles

Barrieras para el biodiesel

La palma africana y el biodiesel – posibilidades

13:30h hasta 17:30h: Visita a Energías Biodegradables, Alto de Ochomogo, Cartago

Presencias:

Eladio Madriz G. – Gerente de la Empresa

Sandra Miranda – DSE

- Temas abordados: Waldyr L. R. Gallo - consultor
 El biodiesel y el ambiente
 Descripción del proceso de producción empleado
 Testes ya realizados
 Precios de materias primas
 Necesidad de materias primas alternativas
 Visita a la planta de producción
- Martes 13 de febrero: gira de campo
 6:00h hasta 21:00h: Viaje a Quepos, Puntarenas, para visita a sitio de cultivo de palma africana y planta extractora de aceite.
- Presencias: Alvaro Carmona Solano – Superintendente Cia. Palma Tica
 Sandra Miranda – DSE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
- Temas abordados: Descripción de la Empresa Palma Tica
 Capacitación técnica de la empresa
 La palma africana y el biodiesel
 Visita al cultivo de palma: manejo, cosecha y transporte
 Visita a planta extractora de aceite de palma: descripción del proceso de producción, productos y subproductos obtenidos, giro por la planta.

Guatemala: Agenda armada por Lic. Carlos Echeverría, de la Dirección General de Energía

Miércoles 14 de febrero

- 15:00h hasta 16:20h: Reunión en la Unidad de Políticas e Información Estratégica del MAGA.
- Presencias: Estuardo Donis – UPIE/MAGA
 Edwin Rojas – UPIE/MAGA
 Carlos Echeverría - DGE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
- Temas abordados: El problema del maíz: importaciones
 Discusión sobre posibles materias primas alternativas
 Áreas de protección ambiental
 Disponibilidad de tierras para siembras: subutilizadas o de menor calidad
 El biodiesel y la reducción de pobreza
- 16:40h hasta 18:20h: Reunión con Octagón – Biocombustibles de Guatemala
- Presencias: Ricardo Asturias Pullin – Octagón
 Carlos Echeverría - DGE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
- Temas abordados: La experiencia de Octagón en producción de biodiesel
 Uso de materias primas alternativas
 Palma africana y biodiesel: problemas
 Descripción del proceso de producción de biodiesel
 Comercialización actual
 Competencia por tierras: alimentos x energía

- Definiciones de marco legal e incentivos
 Discusión acerca de las especificaciones del biodiesel
- Jueves 15 de febrero
- 09:10h hasta 11:40h: Reunión en la DGE con productores de biodiesel.
 Presencias: Eduardo Avila – Fuerza Verde
 Alan Crooas – Fuerza Verde
 Raul Signenza – Comunidad Nueva Alianza
 Amado Jiménez – Comunidad Nueva Alianza
 Pedro Ordoñez – Guatebiodiesel
 Daniel Krabatsch – Helios
 Mario Godines – DGH / MEM
 Glenda Lopez - MEM
 Carlos Echeverria - DGE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
- Temas abordados: Materias primas alternativas empleadas
 Descripción de cada proceso de producción
 Destinación de la glicerina
 Uso de aceite vegetal en motores (no es biodiesel)
 Testes ya realizados
 Especificaciones del biodiesel
 Disponibilidad de tierras para siembras
- 11:45h hasta 13:10h: Reunión en la DGE con la DGH
 Presencias: Jorge Silva – DGH – Diretor
 Cesar Corado - DGH
 Edgar Marroquin - DGH
 Mario Godines – DGH
 Luis Velásquez – DGH
 Carlos Echeverria - DGE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
- Temas abordados: La cuestión económica y la cuestión ambiental
 Especificaciones del biodiesel: Reglamento
 Control de calidad del biodiesel y capacidad laboratorial
- 14:00h hasta 15:40h: Reunión en la empresa Agrocaribe.
 Presencias: Enrique Arriola – Agrocaribe – Gerente General
 Carlos Santiago – Agrocaribe
 Carlos Echeverria - DGE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
- Temas abordados: Descripción de la Empresa Agrocaribe
 Capacitación técnica de la empresa
 La palma africana y el biodiesel
 Definiciones de marco legal e incentivos
 Discusión sobre disponibilidad de tierras para nuevas siembras
- 16:00h hasta 16:40h: Reunión con la Asociación de Combustibles Renovables.
 Presencias: Aida Lorenzo – gerente general – ACR
 Carlos Echeverria - DGE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
- Temas abordados: La visión de la ACR sobre biodiesel

El etanol y el biodiesel
 Barreras al biodiesel
 17:00h hasta 18:10h: Reunión en el MAG – Operaciones Rurales
 Presencias: Marco Túlio Leon Menendez – OR / MAG
 Carlos Echeverria - DGE
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
 Temas abordados: Materias primas para biodiesel
 Especies no comerciales
 Necesidad de investigación agronómica
 Disponibilidad de tierras

El Salvador: Agenda armada por Ing. Jorge Rovira, de la Dirección de Energía Eléctrica

Viernes 16 de febrero

14:30h hasta 17:00h: Reunión en el Ministerio de Economía con DEE y DHM.
 Presencias: Jorge Rovira – DEE / MINEC - Director
 Gina Navas de Hernandez – DHM / MINEC - Directora
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
 Temas abordados: El biodiesel en El Salvador – visión del DEE
 Verificación de los datos solicitados
 La visión del DHM sobre el biodiesel
 La cuestión económica: barrera para el biodiesel
 Necesidad de reglamento para comercialización en larga escala

Lunes 19 de febrero

10:00h hasta 12:20h: Reunión en el Ministerio de Agricultura y Ganadería.
 Presencias: Ernesto Hayen – Of. Planificación Agropecuaria – MAG director
 Raphael Martinez – RUTA
 Mario Samayor – CENTA MAG
 José Hector Mayorga – Consultor del MAG
 Eriberto Olivares – Asociación de cafetaleros UCAFES
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
 Temas abordados: Materias primas para biodiesel en El Salvador
 Especies no comestibles
 Necesidad de investigación agronómica
 Disponibilidad de tierras
 14:00h hasta 17:10h: Visita a Corporación Salvadoreña de Inversiones – CORSAIN
 productor de biodiesel en Canton San Nicolás, Sonsonate.
 Presencias: Gino Betaglio - CORSAIN
 Mario Ernesto Salaverría -Ministro de Agricultura y Ganadería
 Ernesto Hayen – Of. Planificación Agropecuaria – MAG director
 Raphael Martinez – RUTA
 Mario Samayor – CENTA MAG
 Eriberto Olivares – Asociación de cafetaleros UCAFES
 Waldyr L. R. Gallo - consultor
 Temas abordados: Presentación del emprendimiento
 Descripción del proceso de producción
 Visita a tanques de almacenamiento

Visita a planta de biodiesel (etapa final de montaje)
El problema de las materias primas

Honduras: Agenda armada por Jorge Centeno, de la UPE – Presidencia da Republica

Martes 20 de febrero

11:00h hasta 13:00h: Reunión en la Unidad de Proyectos Especiales de la Presidencia.

Presencias: Jorge Centeno – UPE – Presidencia da Republica
Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Definición de agenda de reuniones
Breve presentación del Programa de Biodiesel de Honduras

14:30h hasta 16:50h: Reunión en la Unidad de Proyectos Especiales de la Presidencia.

Presencias: Jorge Centeno – UPE – Presidencia da Republica
Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Productores de palma africana y el biodiesel
Los proyectos con otras materias primas
Testes en flotas de autobuses
El proyecto de Ley de Biocombustibles

Miércoles 21 de febrero

09:30h hasta 11:20h: Reunión en el Infoagro - SAG.

Presencias: Jorge Salandias – Infoagro
Dania Baca – Infoagro
Miguel Canales - Infoagro
Jorge Centeno – UPE – Presidencia da Republica
Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Impactos legales y fiscales del biodiesel
Verificación de datos de la FAO sobre Honduras
Producción de alimentos x producción de energía
Materias primas alternativas
Precios de posibles materias primas para biodiesel

14:00h hasta 16:00h: Reunión en la Comision Administradora del Petróleo

Presencias: Lucy Bu – CAP - Directora
Joaquin Ochoa – CAP
Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Datos de precios y consumo de hidrocarburos
La visión de la CAP sobre el biodiesel
El nuevo sistema de importaciones de hidrocarburos
Especificaciones técnicas del biodiesel
Laboratorios para certificación de calidad
Inspecciones de calidad y defensa del consumidor

Jueves 22 de febrero

09:40h hasta 11:35h: Reunión en la Dirección de Energía de la SERNA

Presencias: Francisco Rivas – DE
 Carolina Andara - DE
 Jorge Centeno – UPE – Presidencia da Republica
 Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: El balance energético de Honduras
 Cuestiones ambientales, energías renovables y créditos de carbón
 Producción de alimentos x producción de energía
 La visión de la DE sobre el biodiesel

14:15h hasta 17:00h: Reunión en la Unidad de Proyectos Especiales de la Presidencia.

Presencias: Jorge Centeno – UPE – Presidencia da Republica
 Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Evaluación de las reuniones
 Contactos con la Fenapalma: elaboración de cuestiones
 Entrevista con Fenapalma: Hector Castro, por e-mail

Viernes 23 de febrero

09:20h hasta 09:40h: Reunión en la CAP

Presencias: Joaquin Ochoa - CAP
 Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Datos adicionales de precios y consumo de hidrocarburos

09:50h hasta 12:20h: Reunión en la Unidad de Proyectos Especiales de la Presidencia.

Presencias: Jorge Centeno – UPE – Presidencia da Republica
 Waldyr L. R. Gallo - consultor

Temas abordados: Repase de la información consolidada
 Las ONG's y el biodiesel
 Universidades y Centros de Tecnología: incorporación
 El papel del Consejo Hondureño de Ciencia y Tecnología
 La cuestión de laboratorios para certificación de calidad

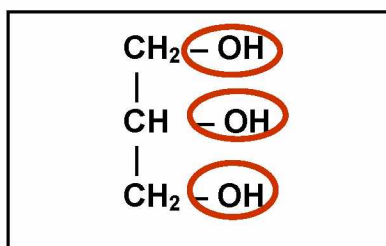
ANEXO III

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE ACEITES VEGETALES Y BIODIESEL

Los aceites vegetales y grasas animales son lípidos. Los lípidos son constituidos básicamente por mezclas de diferentes triglicéridos (tri-ésteres de ácidos grasos) pero contienen otros compuestos como los fosfatídeos, diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres en pequeñas cantidades. Los ácidos grasos que componen un triglicérido pueden ser diversos. Mono, di o triglicéridos son ésteres de uno, dos o tres ácidos grasos, iguales o no, unidos por un puente de glicerina. El biodiesel es una mezcla de alquil-ésteres de ácidos grasos. En las figuras de abajo se aprecian ejemplos de cada una de las especies químicas citadas, empezando por las más simples.

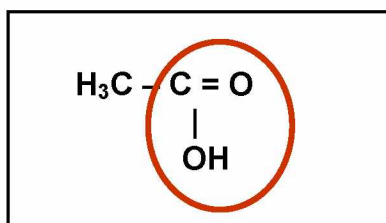
La glicerina es una sustancia pura caracterizada como un tri-alcohol (3 grupos OH) en un radical propil:

Figura III-1 - Glicerina



Los ácidos orgánicos son caracterizados por el grupo – COOH; la figura III-2 muestra el ácido orgánico más simple, el ácido acético.

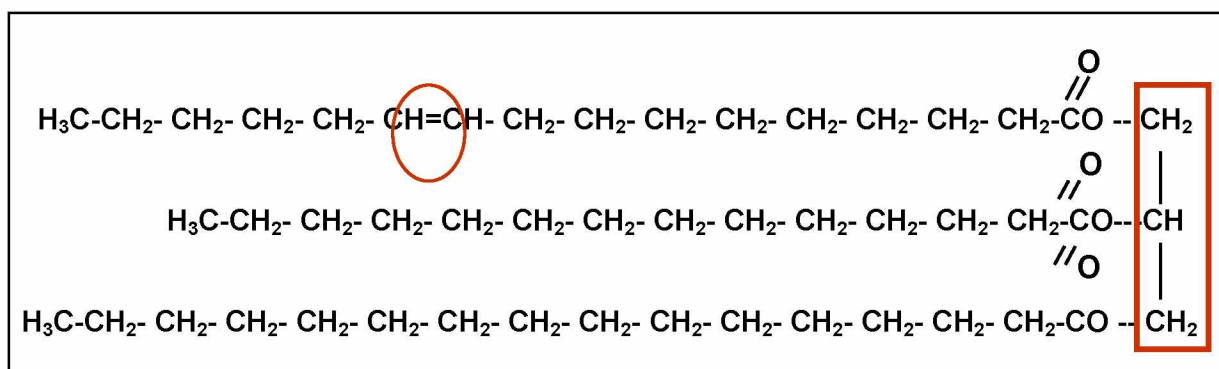
Figura III-2 - Ácido acético



Los ácidos grasos son ácidos orgánicos de cadena carbónica lineal, en general formados de cuatro a 24 átomos de carbón. En el cuadro del anexo III-1 se presentan los principales ácidos grasos presentes en aceites y grasas. La figura III-3 presenta la estructura de un ácido graso libre (Free Fat Acid – FFA) de 10 carbonos.

La figura III-7 presenta la estructura de una de las varias posibles moléculas de un triglicérido. Los tres ácidos grasos de este particular ejemplo no son iguales; observe que el puente que une los ácidos grasos es una molécula de glicerina modificada. Producir biodiesel es “quebrar” este puente y producir tres ésteres independientes de cada molécula de triglicérido. Cuando los enlaces carbón / carbón son simples, se dice que el triglicérido es saturado. La existencia de un (o más) enlaces dobles en la cadena carbónica lo caracteriza como insaturado (o poli-insaturado). La presencia de enlaces dobles afecta fuertemente varias propiedades del triglicérido y del biodiesel que deriva de él, propiciando la existencia de isómeros (cis – trans) y afectando el punto de fusión del lípido (los saturados en general tienden a ser sólidos en la temperatura ambiente – grasas o gorduras).

Figura III-7 – Molécula de un triglicérido particular



Los mono y di-glicéridos son provenientes de una reacción parcial del triglicérido original. Las figuras abajo muestran su estructura.

Figura III-8 – Molécula de un diglicérido particular

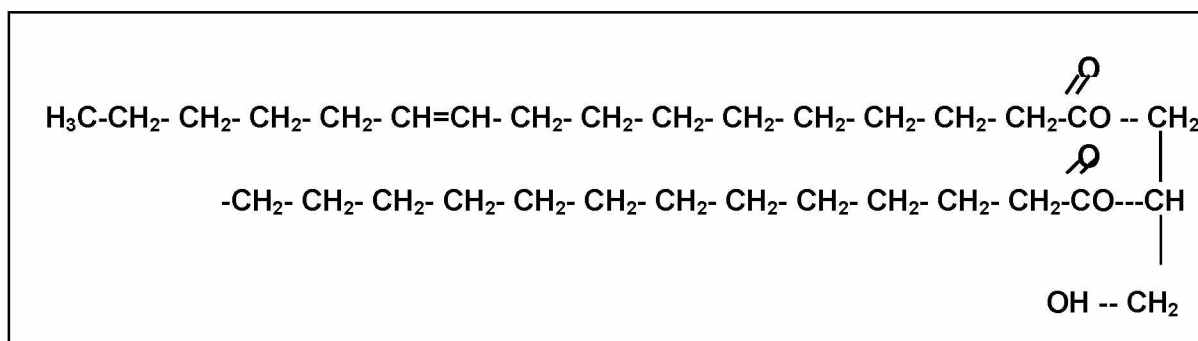
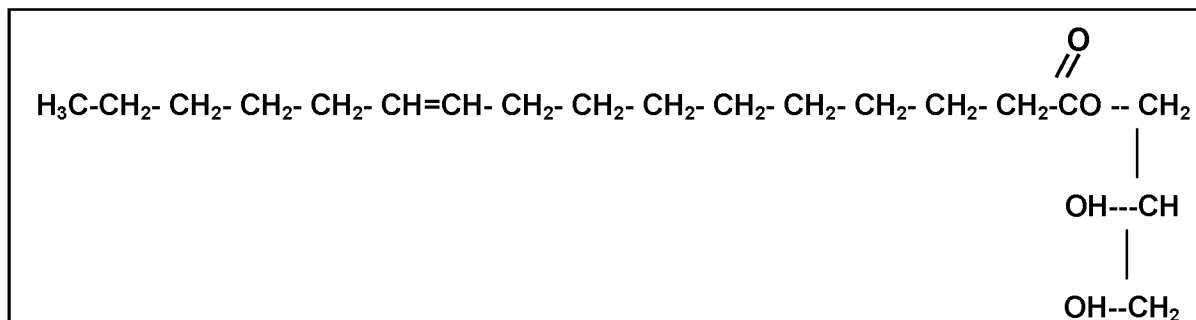


Figura III-9 – Molécula de un monoglicérido particular

El cuadro III-1 muestra los principales ácidos grasos con su nombre común, su nomenclatura IUPAC, su símbolo reducido y su fórmula mínima.

Los diversos aceites o grasas se caracterizan por diferentes proporciones de los ácidos grasos descritos arriba. Como ejemplo, el cuadro III-2 muestra la composición de algunos que otros aceites vegetales y grasas animales, en términos de sus principales ácidos grasos.

Otros aceites poseen otras composiciones, pero es de notarse que los aceites más empleados para producir el biodiesel están fuertemente concentrados en ácidos con 16 ó 18 átomos de carbón en sus cadenas, sean ellas saturadas o insaturadas (ácidos palmítico, esteárico, oléico, linoléico o ricinoléico). Llama la atención el caso del aceite de higüerillo, que posee fuerte concentración de ácido ricinoléico. Este ácido es muy particular, pues posee un grupo hidroxilo en su cadena, que le confiere propiedades muy distintas de todos los demás, especialmente por su alto poder lubricante y alta viscosidad.

Cuadro III-1

PRINCIPALES ÁCIDOS GRASOS CONOCIDOS EN LA NATURALEZA.

Nombre usual	Nombre IUPAC Ácido....	Símbolo	Fórmula Mínima
Butírico	Butanóico	C4:0	C4.H8.O2
Caprónico	Hexanóico	C6:0	C6.H12.O2
Caprílico	Octanóico	C8:0	C8.H16.O2
Caprico	Decanóico	C10:0	C10.H20.O2
Otusílico	Cis-4-decenóico	C10:1(n4)	C10.H18.O2
Caproleico	Cis-9-decenóico	C10:1(n9)	C10.H18.O2
Láurico	Dodecanóico	C12:0	C12.H24.O2
Lauroleico	Cis-5-dodecenóico	C12:1(n5)	C12.H22.O2
Lindérico	Cis-4-dodecenóico	C12:1(n4)	C12.H22.O2
Mirístico	Tetradecanóico	C14:0	C14.H28.O2
Miristoleico	Cis-9-tetradecenóico	C14:1(n9)	C14.H26.O2
Tsuzuico	Cis-4-tetradecenóico	C14:1(n4)	C14.H26.O2
Palmítico	Hexadecanóico	C16:0	C16.H32.O2
Palmitoleico	Cis-9-tetradecenóico	C16:1(n9)	C16.H30.O2
Esteárico	Octadecanóico	C18:0	C18.H36.O2
Petrosélfínico	Cis-6-octadecenóico	C18:1(n6)	C18.H34.O2
Oléico	Cis-9-octadecenóico	C18:1(n9)	C18.H34.O2
Eládico	Trans-9-octadecenóico	C18:1(n9)	C18.H34.O2
Vaccênico	Cis-11-octadecenóico	C18:1(n11)	C18.H34.O2
Linoleico	Cis-9-cis-12-octadecadienóico	C18:2(n9,n12)	C18.H32.O2
Linolénico	Cis9-cis12-cis15-octadecatrienóico	C18:3(n9,n12,n15)	C18.H30.O2
Ricinoleico	12-hidroxi-cis-9-octadecenóico	C18:1(n9):OH(n12)	C18.H34.O3
Araquídico	Icosanóico	C20:0	C20.H40.O2
Gadoleico	Cis-9-icosenóico	C20:1(n9)	C20.H38.O2
Gadóico	Cis-11-eicosenóico	C20:1(n11)	C20.H38.O2
Araquidónico	Cis-6-cis-9-cis-12-cis15-eicostetraenóico	C20:4(n6,9,12,15)	C20.H32.O2
Behênico	Docosanóico	C22:0	C22.H44.O2
Cetoleico	Cis-11-docosenóico	C22:1(n11)	C22.H42.O2
Erúico	Cis-13-docosenóico	C22:1(n13)	C22.H42.O2
Lignocérico	Tetracosanóico	C24:0	C24.H48.O2
Nervónico	Cis-15-tetracosenóico	C24:1(n15)	C24.H46.O2

Cuadro III-2

PROPORCIONES DE ÁCIDOS GRASOS EN ACEITES VEGETALES Y GRASAS ANIMALES

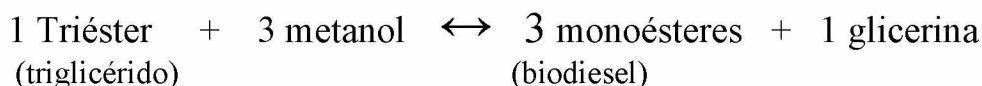
Aceite	Ácidos grasos – símbolos conforme Tabla 1					
	C16 %	C18 %	C18:1n9 %	C18:2n9,12 %	C18:1n9 OH(n12)	Otros %
Algodón (a)	17-23	1-3	23-41	34-55	---	0-5
Maní (a)	8-10	1-4	30-50	34-56	---	0-4
Canola (a)	5	2	58	21	---	14
Colza (d)	2-5	1-2	10-15	10-20	---	55-70
Palma (b)	32-47	1-6	40-52	2-11	---	1-6
Girasol (a)	6	4	19	69	---	2
Higüerillo (c)	2	1	3	5	88	1
Coco (c)	7-10	1-4	5-8	1-3	---	75-86
Soya (b)	7-11	3-6	22-34	50-60	---	11-22
Oliva (d)	14	---	76	10	---	---
Maíz (d)	8-10	1-4	30-50	34-56	---	1-4
Jatropha (e)	16	10	41	32	---	1
Grasa ganado (d)	23-29	21-26	39-42	2	---	4-11
Grasa cerdo (d)	25-30	12-16	41-51	4-22	----	5-18
Aceite usado (e)	17	12	55	8	---	8

Fuentes: (a) – Szpiz, R.R. y otros, 1984
 (b) – Abreu, F.R. y otros, 2003
 (c) – MME, 1985
 (d) – Beare-Rogers y otros, 2001
 (e) – Van Gerpen, 2006

ANEXO IV

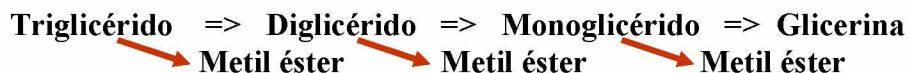
LAS REACCIONES DE TRANSESTERIFICACIÓN

La reacción química que produce el biodiesel a partir de los triglicéridos se llama transesterificación y su representación esquemática global está dada abajo:

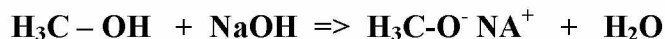


Cada molécula de biodiesel es un monoéster metílico, del tipo $R - COO - CH_3$, donde R es un radical de ácido graso y el grupo CH_3 proviene del metanol. En el caso de uso de etanol para la reacción, las moléculas de biodiesel serán monoésteres etílicos del tipo $R - COO - C_2H_5$.

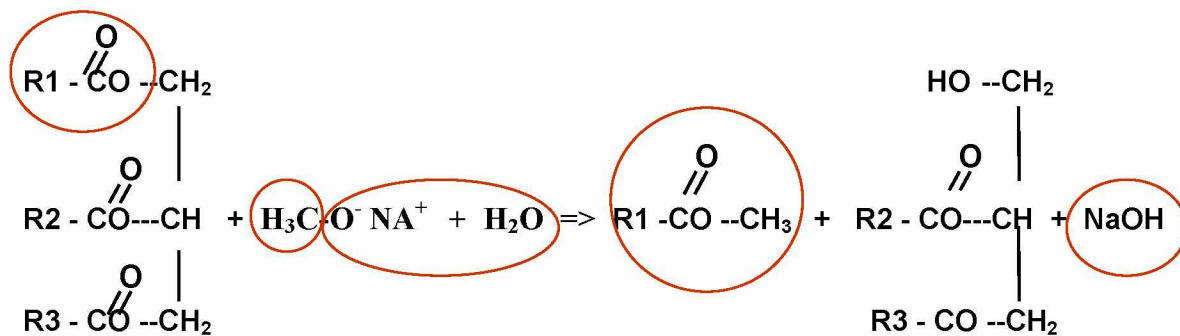
La reacción real ocurre en etapas y puede ser representada esquemáticamente:



La descripción detallada de las etapas con participación del catalizador alcalino (NaOH o KOH) se da a continuación. En primer lugar, ocurre la formación de metóxido de sodio o de potasio cuando se mezclan el metanol y el catalizador:

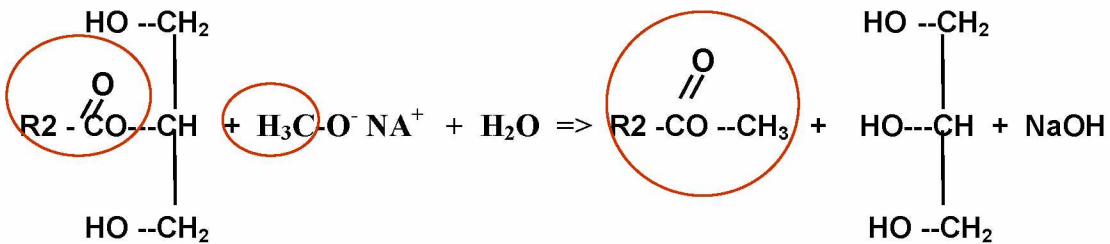
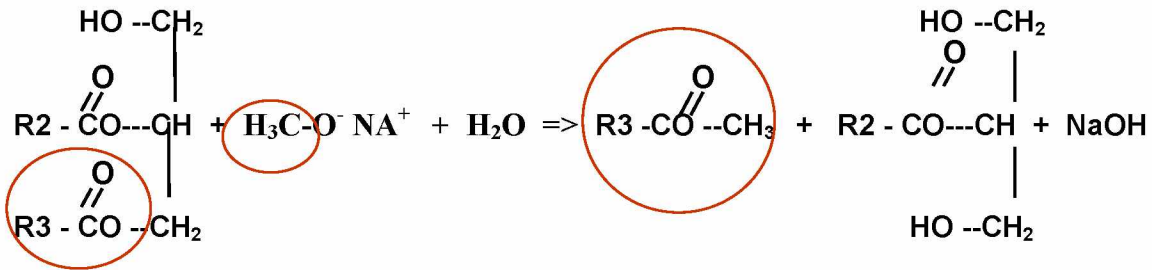


Cuando se hace la mezcla entre un triglicérido y el metóxido producido arriba:



Es decir, el grupo metil del metóxido se une a uno de los ácidos grasos (R1 en la figura), produciendo una molécula de metil - éster (biodiesel) y transformando el triglicérido en un diglicérido. Es de notarse que el catalizador es restituido (NaOH). La reacción del diglicérido para monoglicérido es similar a la reacción de arriba empleando una molécula más de metóxido y agua con la formación de una nueva molécula de biodiesel, un monoglicérido y NaOH. Lo

mismo ocurre entonces para el monoglicérido que se transforma finalmente en glicerina liberando la tercera molécula de biodiesel y de NaOH.



La reacción de transesterificación es reversible por lo que es necesario trabajar con exceso de metanol (o etanol) para lograr altos porcentajes de conversión de triglicéridos en glicerina con la consecuente producción de biodiesel. La conversión de los triglicéridos en glicerina nunca es del 100% y siempre restan productos intermedios o laterales de la reacción, tales como diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres (FFA). Esta es la razón para la necesidad de hacer siempre la purificación del biodiesel antes de su liberación para uso final. Como se trabaja con exceso de metanol, es importante separar el metanol de la agua y reutilizarlo en el proceso.